

07;09
©1993

СИНХРОНИЗАЦИЯ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРА ПИКОСЕКУНДНЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ СОЛИТОНАМИ С ВЫСОКОЙ ЧАСТОТОЙ ПОВТОРЕНИЯ

А.С.Шербаков

В синхронной информационной системе любого назначения необходимо, чтобы сигналы синхронизации были точно определены по сравнению с верхней граничной частотой обрабатываемого сигнала и характерным временем изменения внешних дестабилизирующих факторов. С повышением точности обработки и производительности информационных систем возрастают требования в длительности и частоте повторения сигналов синхронизации. В связи с развитием оптических информационных технологий многие аспекты этой проблемы оказались перенесены в оптический диапазон, поэтому в данной работе рассматриваются некоторые вопросы создания прецизионной оптической системы синхронизации.

Идеальным синхросигналом является δ -импульс, так что с практической точки зрения целесообразно обратиться к технике сверхкоротких импульсов. При этом в качестве переносчика сигналов синхронизации оптимальными представляются пикосекундные оптические солитоны, распространяющиеся по одномодовым волоконным световодам. Точность синхронизации ограничивается погрешностью определения энергетического центра синхроимпульса, не превышающей его длительности, поэтому использование солитонного режима передачи синхросигналов является предпосылкой для реализации систем с пикосекундной точностью синхронизации. Однако возникает проблема контроля, то есть оценки временного рассогласования синхроимпульсов с такой точностью, что требует выполнения фотон-электронных преобразований с постоянной времени, лежащей в субпикосекундном диапазоне. Эту трудность удается обойти, если источником синхросигналов служит, например, полупроводниковый лазер, генерирующий пикосекундные импульсы с высокой частотой повторения [1,2].

В качестве модели рассмотрим задачу синхронизации радиоинтерферометра, в состав которого входят два пункта наблюдения и центр обработки, рис. 1,а [3]. Схема волоконно-оптической части системы синхронизации ра-

диоинтерферометра представлена на рис. 1,б. Основной измеряемой характеристикой здесь является временное рассогласование t_c между энергетическими центрами сверхкоротких импульсов — синхросигналов, прошедших по двум волоконным каналам передачи. Импульсы вводятся одновременно в оба канала, и время их прохождения по каждому из каналов зависит от оптической длины пути, а также дестабилизирующих факторов, воздействующих на показатели преломления $n_{1,2}$. В точку регистрации синхросигналы придут через времена

$$\tau_{1,2} = c^{-1}l_{1,2}n_{1,2} + \delta t_{1,2},$$

где $\delta t_{1,2}$ — задержки, связанные со случайными дестабилизирующими факторами, c — скорость света. Временное рассогласование составит

$$t_c = |\tau_1 - \tau_2| = |c^{-1}(l_1n_1 - l_2n_2) + \delta t_1 - \delta t_2|.$$

Измерение временных интервалов может производиться сопоставлением непрерывной последовательности импульсов с самой собой при формировании автокорреляционной функции 2-го порядка. Для ее регистрации с пикосекундным разрешением применяются нелинейные и интерференционные схемы. Временное разрешение в них ограничено длительностью световых импульсов, а в случае использования нелинейного преобразования еще и временем отклика среды, которое в кристаллах достигает 10^{-15} с. В нелинейных схемах фотодетектор интегрирует сигнал, пропорциональный мощности второй гармоники исследуемого излучения, так что их достоинством является потеря информации о фазе. Однако недостаточная эффективность преобразования при низких уровнях мощности излучения затрудняет работу с маломощными источниками. Поэтому целесообразно обратиться к интерференционной методике регистрации автокорреляционной функции, обеспечивающей достаточную эффективность при использовании полупроводниковых лазеров. Но интерференционная методика чувствительна к фазовым характеристикам излучения, в том числе к его когерентности, а однозначность результатов измерений достигается лишь при условии, что исследуемое излучение представляет собой слабый фон и последовательность спектрально-ограниченных импульсов с гладкой огибающей. Это условие выполняется при использовании в качестве синхросигналов пикосекундных солитонов в одномодовых волоконных световодах.

В случае применения интерференционной корреляционной методике регистрации временного рассогласования схема оптической части системы синхронизации (рис. 1,б) в

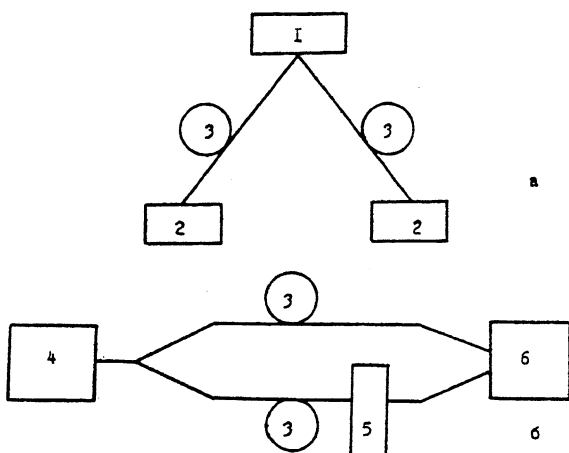


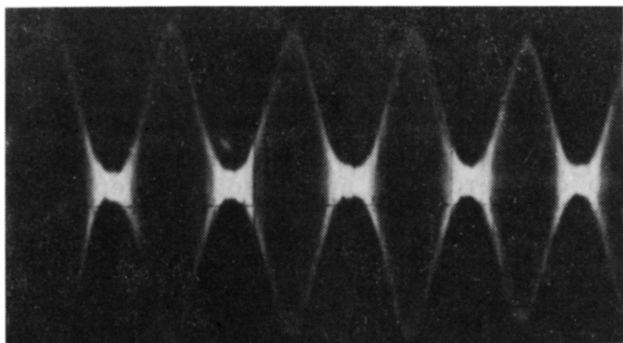
Рис. 1. Система оптической синхронизации радиointерферометра. *a* — функциональная схема, *б* — схема волоконно-оптической части системы синхронизации. Обозначения: 1 — центр обработки, 2 — пункт наблюдения, 3 — волоконный канал передачи синхросигналов (длина канала l_i ; $i = 1, 2$), 4 — источник солитонобразующих импульсов, 5 — регулируемая оптическая линия задержки, 6 — схема измерения временного рассогласования.

целом представляет собой интерферометр Маха-Цендера, и ее работа обусловлена факторами стабильности такого волоконного интерферометра. В качестве схемы измерения временного рассогласования между импульсами, приходящими по двум каналам, один из которых содержит регулируемую линию задержки, используется сканирующий интерферометр Майкельсона. На фотоприемнике складываются поля $E(t)$ и $E(t + \tau)$, а время интегрирования T удовлетворяет неравенству: $\tau_\Phi < T \ll \omega^{-1}$, где ω — частота сканирования повторного зеркала, τ_Φ — постоянная времени фотоприемника. Величину τ представим в виде:

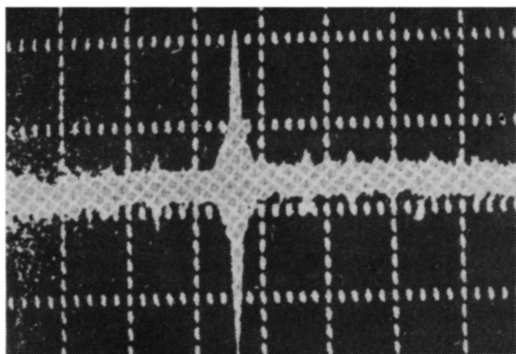
$$\tau = t_c + t_l + ac^{-1} \sin(\omega t),$$

где t_l — вклад регулируемой линии задержки, a — амплитуда сканирования поворотного зеркала интерферометра Майкельсона.

В экспериментах использовались InGaAsP-гетеролазеры. Определение интервала когерентности схемой измерения проводилось в непрерывном режиме, когда функция когерентности имеет периодическую огибающую. На рис. 2, *a* представлена автокорреляционная функция непрерывного излучения полупроводникового источника, с помощью которой интервал когерентности оценен величиной 10 пс. При подаче на схему измерения непрерывной последовательности солитонных синхросигналов длительностью $\tau_0 = 3.2$ пс



a



б

Рис. 2. Автокорреляционные функции, зарегистрированные интерференционным методом.

a — непрерывное излучение полупроводникового лазера, *б* — непрерывная последовательность оптических солитонных синхросигналов с длительностью 3.2 пс.

с частотой повторения около 1 ГГц, генерируемых тем же лазером в режиме активной синхронизации мод с внешним резонатором, регистрируется осциллограмма, приведенная на рис. 2, *б*. Период повторения такой картины определяется величиной ω , которая ограничивает допускаемые корреляционной методикой регистрации характерные времена изменения дестабилизирующих факторов. Факт использования корреляционной методики при регистрации временного рассогласования пикосекундного масштаба позволяет избежать сверхбыстрых фотон-электронных преобразований и перейти к фотодетектированию с постоянной времени $\lesssim 1$ нс за счет высокой частоты повторения синхроимпульсов. При этом точность измерения величины t_c возрастает с увеличением частоты повторения синхросигналов, то есть с ростом числа отсчетов.

Калибровка волоконной системы синхронизации обеспечивается регулируемой линией задержки, а диапазон измерения временного рассогласования определяется полным ходом линии задержки. Достижимая точность установки каждого из каналов передачи синхросигналов (плеч волоконного интерферометра Маха-Цендера) составляет 10 мкм, что соответствует временному интервалу около 0.03 пс. При интервале когерентности источника 10 пс эта величина практически не влияет на точность измерений.

Экспериментально оценка воздействия дестабилизирующих факторов на каналы передачи синхросигналов моделируется в схеме введением дополнительной оптической задержки Δt_n в одном из каналов. При изменении задержки Δt_n автокорреляционная функция смещается по временной шкале (на экране осциллографа). Для случая солитонного синхроимпульса с огибающей вида $\text{sech} \frac{t}{\tau_0}$ изменение местоположения автокорреляционной функции на величину t_0 относительно реперной точки, фиксируемой при калибровке схемы и принимаемой за начало отсчета, соответствует временному рассогласованию $t_c = \frac{2}{\pi} t_0$. Проведенные оценки показывают, что полная погрешность измерений величины временного рассогласования t_0 в схеме составляет величину ± 0.1 пс в диапазоне ± 50 пс.

В заключение автор выражает благодарность В.М. Сысуеву за участие в экспериментах, а также Д.З. Гарбузову, Ю.В. Ильину и И.С. Тарасову за предоставленные для экспериментов полупроводниковые лазеры.

Список литературы

- [1] Князев И. А., Шербаков А. С., Ильин Ю. В., Рассудов Н. Л., Тарасов И. С. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 3. С. 14-17.
- [2] Андреева Е.И., Шербаков А.С., Бершнев И.Э., Ильин Ю.В., Тарасов И.С. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 24. С. 23-27.
- [3] Губанов В.С., Финкельштейн А.М., Фридман П.А. Введение в радиоастрономию. М.: Наука, 1983. 280 с.

С.-Петербургский государственный
технический университет

Поступило в Редакцию
3 августа 1993 г.