

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.373.825

Б. В. БОНДАРЕВ, Г. Д. РОДИОНОВ, В. А. СОРОКИН,
В. Б. СОРОКИН, П. А. ЧУБАКОВ
(Новосибирск)

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЗАПИСИ И ОБРАБОТКИ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ СВЕРХКОРОТКИХ СВЕТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ

Сверхкороткие световые импульсы (СКСИ) длительностью до 0,1 пс дают уникальные возможности для исследования сверхбыстрых процессов в сложных молекулярных системах и кристаллических структурах. Получение таких импульсов является сложной физико-технической задачей. Одной из проблем при создании лазерных систем, генерирующих СКСИ, является необходимость быстрого (за время ≤ 1 с) контроля длительности и формы импульсов. Единственным методом контроля длительности СКСИ субпикосекундного диапазона служит автокорреляционная методика, основанная на регистрации сигнала второй гармоники исследуемых импульсов [1]. Сигнал автокорреляционной функции (АКФ) в быстросканируемых автокорреляторах с временем сканирования $\leq 0,05$ с выводится на осциллограф [2], в медленно сканируемых (время сканирования ≥ 100 с) — на графопостроитель [3]. Автокорреляторы первого типа необходимы для настройки лазеров, генерирующих СКСИ, второго — для детального исследования их формы. Применение ЭВМ может позволить производить детальный контроль формы при помощи только быстросканируемого коррелятора за времена ≤ 1 с. Таким образом, исключается необходимость применения двух типов автокорреляторов (или одного в двух режимах записи). Разработанные ранее системы контроля формы СКСИ с использованием ЭВМ [4, 5] не решали данной задачи, поскольку в них применялись автокорреляторы с медленным (≈ 300 с) сканированием оптической задержки. Автоматизация измерений параметров АКФ, а следовательно, и СКСИ в быстросканируемых автокорреляторах имеет свои специфические особенности, связанные как с осуществлением процессов накопления данных и их обработкой, так и с конкретной технической реализацией автокоррелятора.

В настоящей работе описывается автоматизированная система регистрации и математической обработки АКФ световых импульсов, созданная на базе разработанного нами автокоррелятора [6] и ЭВМ «Электроника 60».

Система включает в себя следующие устройства: быстросканируемый автокоррелятор (время сканирования 0,05 с); осциллограф; ЭВМ «Электроника 60»; КАМАК-крейт с тремя модулями: цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и специальный модуль. Специальный модуль включает два дифференциальных приемника сигналов (ДПС), компаратор и одновибратор.

Система работает следующим образом. С выхода автокоррелятора снимаются два электрических сигнала: V_x , пропорциональный временной задержке между коррелирующими импульсами; V_y , пропорциональ-

ный значению АКФ. Эти сигналы поступают на x - и y -входы осциллографа и ДПС. Изображение АКФ на экране осциллографа позволяет осуществить оптимальную настройку лазера. Теперь необходимо измерить параметры АКФ такие, например, как ее ширина, которая несет информацию о длительности светового импульса. Для этого целесообразно использовать неэквидистантные отсчеты на оси V_x , располагая их таким образом, чтобы наибольшая плотность приходилась на область быстрого изменения функции. Диапазон измерения V_x , а также зона и степень сгущения точек измерения вблизи максимума АКФ задаются оператором программно, исходя из изображения АКФ на экране осциллографа.

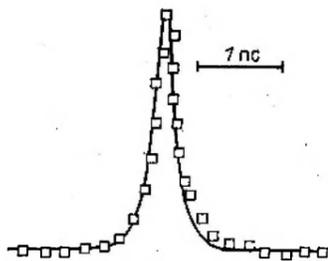
В соответствии с этим ЭВМ посылает в ЦАП коды выборки значений АКФ, которые ЦАП в аналоговом виде подает на один из входов компаратора специального модуля. Второй вход компаратора подключен к выходу ДПС, с которого поступает сигнал V_x . Применение дифференциального приемника сигнала целесообразно при большой длине линии связи от автокоррелятора к крейту. При совпадении напряжений V_x и напряжения, вырабатываемого ЦАП, компаратор срабатывает. По формируемому им фронту одновибратор вырабатывает стартовый сигнал для запуска АЦП. Получив стартовый сигнал, АЦП преобразует V_y в цифровой код и отправляет его в память ЭВМ. Затем в ЦАП посылается другой код, соответствующий другому значению V_x , и процедура измерения повторяется. Таким образом, в памяти ЭВМ формируются массив сигналов V_x (коды ЦАП) и соответствующий им массив сигналов V_y .

Быстродействие ЭВМ не позволяет за время сканирования (0,05 с) произвести достаточное количество измерений, поэтому АКФ измеряется в ста точках за десять проходов зеркала в плече автокоррелятора, т. е. за время 0,2 с. Другими словами, за первый период сканирования измерение производится в 1-й, 11-й, 21-й, ..., 91-й точках, за второй период — во 2-й, 12-й, 22-й, ..., 92-й и т. д. Осуществляется как бы «стромирование» АКФ.

Калибровка временного масштаба V_x выполняется по измерению смещения нуля АКФ, происходящего при внесении в одно из плеч автокоррелятора кварцевой пластинки заданной толщины.

Для уменьшения влияния на АКФ амплитудных флуктуаций интенсивности излучения лазера можно проводить не один, а несколько циклов измерений. Данные каждого цикла измерения заносятся в оперативную память ЭВМ и используются для вычисления средних значений и погрешностей. Последующая математическая обработка заключается в аппроксимации экспериментальных данных модельными функциями для различных форм импульса [7]. Параметры аппроксимирующей кривой определяются методом наименьших квадратов (МНК) при помощи обрабатывающей программы, написанной на языке Паскаль. Алгоритм обработки позволяет производить оценку параметров, входящих нелинейно в аппроксимирующую модельную функцию. Для уменьшения взвешенной суммы наименьших квадратов используется метод линеаризации Ньютона. Улучшение устойчивости алгоритма и увеличение радиуса сходимости достигаются с помощью «тушения» [8]. Результаты измерений в виде экспериментальных точек, а также полученная аппроксимирующая функция выводятся на графический дисплей или графопостроитель и хранятся на гибких магнитных дисках.

Разработанная быстродействующая автоматизированная система была использована при получении и исследовании СКСИ непрерывного лазера на красителе с гибридной синхронизацией мод. График полученной АКФ показан на рисунке. Для удобства восприятия часть экспериментальных точек на графике не приведена. Из графика можно определить ширину АКФ на полувысоте Δt . В данном случае она равна ≈ 300 фс. Длительность импульса вычисляется по формуле $k\Delta t$, где коэффициент k зависит от формы импульса. Для каждой функции известно значение k [7]. В приведенном примере измеренная АКФ наи-



Автокорреляционная функция:
выборка экспериментальных значений (□) и интерполяция экспериментальной кривой (сплошная линия)

лучшим образом аппроксимируется функцией типа несимметричная экспонента. Для нее $k = 0,5$, а следовательно, оцененная длительность импульса ≈ 150 фс.

Данная система может также применяться для регистрации и обработки кросс-корреляционных функций и любых сигналов, зависящих от задержки световых импульсов относительно друг друга. Например, с помощью системы можно изучать кинетику люминесценции, оценивать времена жизни возбужденных уровней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сверхкороткие световые импульсы/Под ред. С. Шапиро: Пер. с англ. под ред. С. А. Ахманова.— М.: Мир, 1981.
2. Kalpaxis A., Doukas A. G., Budansky Y. e. a. Description of an electronic controller used with an autocorrelator to measure a femtosecond pulse duration in real-time // Rev. Sci. Instrum.— 1982.— 53, N 7.— P. 960.
3. Gerateinformation.— DDR: Zentrum für Wissenschaftlichen Gerätebau, 1984.— N 010.
4. Watanabe A., Tanaka S., Kobayashi H. e. a. Microcomputer-based spectrum-resolved second-harmonic generation correlator for fast measurement of ultrashort pulses // Rev. Sci. Instrum.— 1985.— 56, N 12.— P. 2259.
5. Watanabe A., Saito H., Ishida Y., Yajima T. Computer-assisted spectrum-resolved SHG autocorrelator for monitoring phase characteristics of femtosecond pulses // Opt. Commun.— 1987.— 63, N 5.— P. 320.
6. Бондарев Б. В., Бутов И. В., Родионов Г. Д. и др. Быстросканируемый автокоррелятор для оценки длительности сверхкоротких световых импульсов // Автометрия.— 1989.— № 1.
7. Sala K. L., Kenney-Wallace G. A., Hall G. E. CW autocorrelation measurements of picosecond laser pulses // IEEE J. Quant. Electron.— 1980.— QE-16, N 9.— P. 990.
8. Levenberg K. A method for the solution of certain non-linear problems in least squares // Quart. Appl. Math.— 1944.— 2.— P. 164.

Поступила в редакцию 13 ноября 1987 г.

УДК 621.373.826

Б. В. БОНДАРЕВ, И. В. БУТОВ, Г. Д. РОДИОНОВ,
В. Б. СОРОКИН, П. А. ЧУБАКОВ
(Новосибирск)

БЫСТРОСКАНИРУЕМЫЙ АВТОКОРРЕЛЯТОР ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СВЕРХКОРОТКИХ СВЕТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ

В настоящее время большой практический и научный интерес представляют лазерные системы, обеспечивающие непрерывную генерацию последовательности световых импульсов с фемтосекундной длительностью. Данные лазерные системы требуют тщательной настройки оптических элементов резонатора, оптимизации состава генерирующих и поглощающих сред, подбора характеристик зеркал и т. д. При проведении этих операций необходимо осуществлять непрерывный контроль за длительностью сверхкоротких световых импульсов (СКИ). Измерение длительности СКИ и субпико- и фемтосекундном диапазонах основано на регистрации автокорреляционных функций [1]. Зарубежными авторами предложен ряд схем быстросканируемых автокорреляторов