

УДК 621.383.8

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА В ВЕЩЕСТВЕ

К. т. н. А. В. Алексашин¹, В. В. Горкун², к. т. н. К. Л. Шевченко²

¹Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса,

²Киевский национальный университет технологий и дизайна, г. Киев

Украина

autom1@meta.ua

Рассмотрены вопросы повышения точности измерения скорости распространения света в веществе и показателя преломления с использованием импульсных источников света. Разработана схема и предложен алгоритм работы устройства обеспечивающего высокое быстродействие и точность определения оптических параметров исследуемого вещества.

Ключевые слова: устройство, световой импульс, погрешность, показатель преломления

Создание новых технологий, увеличение объемов переработки сырья и материалов, обуславливает дальнейшее развитие методов и средств анализа и контроля качества выпускаемой продукции во всех отраслях промышленности. Работы по совершенствованию и разработке новых контрольно-измерительных приборов для определения состава и свойств различных веществ ведутся как у нас в стране, так и за рубежом. Так, для определения скорости распространения света в веществе перспективными являются устройства локационного типа с импульсными источниками света, которые используют задержку световых импульсов в среде распространения. Скорость распространения света в анализируемой среде [1, с. 70—72] при их использовании определяется по времени запаздывание светового импульса, отраженного от границы или неоднородности среды. Подобные устройства состоят из импульсного генератора, формирователя оптических импульсов, полупрозрачного зеркала, фотоприемника, усилителя и осциллографа. Их основным недостатком является то, что при малой длине пути в исследуемой среде время запаздывания составляет единицы наносекунд, и непосредственно измерять его осциллографом практически невозможно.

Известны устройства [2, с. 52—54], в которых используется рециркуляция зондирующих импульсов и измеряется период рециркуляции, который определяется удвоенным значением задержки световых импульсов в исследуемой среде. Однако из-за неизбежного расширения отраженных импульсов трудно точно фиксировать совпадение падающих и отраженных импульсов, что приводит к увеличению погрешности определения скорости света в веществе. Кроме того, в этом устройстве момент совпадений фиксируется оператором по свечению светодиода в схеме индикации, что вносит субъективизм и значительно увеличивает продолжительность измерений.

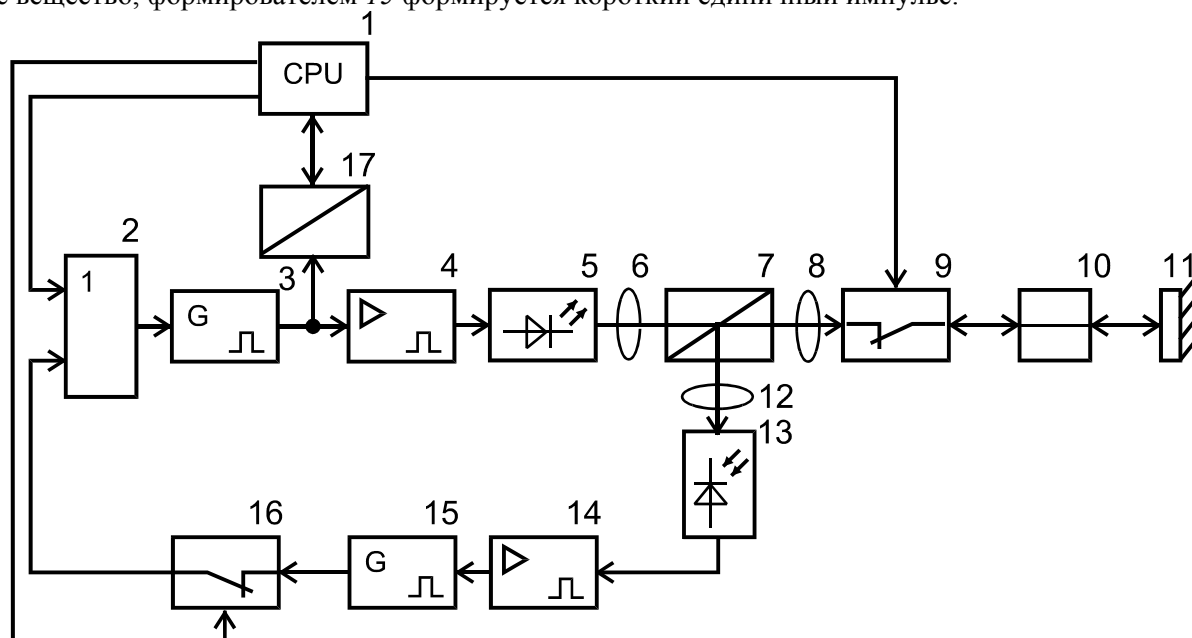
В последнее время для определения скорости распространения света в веществе используются автоматические устройства, оснащенные микро-ЭВМ [3, с. 236-237]. В их состав дополнительно включаются регулируемая линия задержки и блок синхронизации. Однако и в этом случае возникают неконтролируемые задержки в электронных блоках и погрешности в организации плавного регулирования линий задержки, что приводит к возникновению дополнительных погрешностей измерения.

Авторами предложены функциональная схема и алгоритм работы устройства, позволяющие повысить точность определения скорости распространения света в веществе за счет уменьшения временной разрешающей способности до единиц пикосекунд и устранения влияния задержек в электронных блоках.

Рассмотрим алгоритм работы устройства, функциональная схема которого показана на рисунке.

По команде микроконтроллера 1 на запускающий вход формирователя импульсов 3 через логическую схему «ИЛИ» 2 поступает прямоугольный импульс, который усиливается в усилителе 4 и возбуждает светодиод 5. Световой импульс через линзу 6 поступает на вход светоделителя 7, где разделяется на прямой и отраженный импульсы. Прямой импульс через линзу 8 и замкнутый оптический

ключ 9 поступает на вход кюветы 10, содержащей исследуемое вещество. Зондирующий импульс проходит кювету и отражается от зеркала 11, расположенного на выходе кюветы. Отраженный от выхода кюветы световой импульс снова попадает на светоделитель. Отраженный от светоделителя световой импульс через линзу 12 поступает на фотоприемник 13 и преобразуется в электрический импульс. Электрический импульс усиливается усилителем 14 и поступает на формирователь импульсов 15. Из усиленного отраженного импульса, который расширился за счет прохождения через исследуемое вещество, формирователем 15 формируется короткий единичный импульс.



Устройство для определения скорости распространения света в веществе

Через закрытый электронный ключ 16 и логическую схему «или» этот импульс попадает на запускающий вход одновибратора 3 и опять его возбуждает. В результате этого на выходе одновибратора формируется последовательность рециркулирующих импульсов с длительностью τ и паузой

$$\tau_{n1} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \quad (1)$$

где τ_1 — суммарная электрическая и оптическая задержка при формировании зондирующих импульсов; τ_2 — суммарная оптическая задержка зондирующих и отраженных импульсов внутри кюветы; τ_3 — суммарная электрическая и оптическая задержка в обратной цепи формирования рециркулирующих импульсов.

Благодаря задержкам τ_1 и τ_3 в цепях прямой и обратной передачи устройство работает стабильно, потому что исключается наложение падающих и отраженных импульсов. В то же время задержки τ_1 и τ_3 является источниками погрешностей, потому что на их фоне обнаружить и измерить малую задержку τ_2 , вносимую исследуемым веществом, достаточно трудно.

Период повторения зондирующих импульсов

$$T_1 = \tau + \tau_{n1} \quad (2)$$

преобразуется с помощью преобразователя 17 в цифровой код

$$N_1 = T_1 / \Delta t, \quad (3)$$

где Δt — временной шаг квантования.

Цифровой код (3) в микроконтроллере 1 усредняется за заданное число периодов прохождения зондирующих импульсов:

$$N_1 = q T_1 / \Delta t, \quad (4)$$

где q — число периодов повторения рециркулирующих импульсов.

Далее по команде микроконтроллера I оптический ключ 9 размыкается. В этом режиме зондирующие импульсы отражаются от входа кюветы с исследуемым веществом. Период повторения зондирующих импульсов уменьшается до значения

$$T_2 = \tau + \tau_{n2}. \quad (5)$$

В выражении (5) пауза между повторяющимися импульсами, в результате исключения задержки в кювете

становится равной

$$\tau_{n2} = \tau_1 + \tau_3. \quad (6)$$

Период повторения T_2 опять преобразуется в код

$$N_2 = T_2 / \Delta t. \quad (7)$$

После усреднения в микроконтроллере формируется второе значение результирующего кода

$$N_2' = qT_2 / \Delta t. \quad (8)$$

В следующем цикле по команде микроконтроллера электронный ключ 16 размыкается, и процесс формирования рециркулирующей последовательности импульсов прекращается.

По значениям кодов N_1' и N_2' в микроконтроллере I рассчитывается разностный код по формуле

$$N_3 = N_1' - N_2' = q\tau_2 / \Delta t. \quad (9)$$

Задержка оптических импульсов в кювете с исследуемым веществом при длине кюветы l определяется выражением

$$\tau_2 = 2l / V, \quad (10)$$

где V — скорость света в веществе.

С учетом выражения (10), скорость света в веществе однозначно определяется измеряемой задержкой, то есть

$$V = 2l / \tau_2, \quad (11)$$

а показатель преломления исследуемого вещества

$$n = \tau_2 \cdot c / 2l, \quad (12)$$

где c — скорость света в вакууме.

Подставляя в выражения (11) и (12) значения τ_2 из (10), окончательно получим

$$V = 2lq / N_3 \Delta t, \quad (13)$$

$$n = N_3 \Delta t c / 2lq. \quad (14)$$

В микроконтроллере I вычисляются значения скорости света V в веществе и показатель преломления n исследуемого вещества. В память микроконтроллера предварительно вводятся значения длины кюветы l , шага квантования Δt , число повторений периодов q и величина скорости света в вакууме c . Результат выводится на индикатор микроконтроллера.

Благодаря использованию предложенного алгоритма исключается систематическая погрешность измерений оптической задержки τ_2 , обусловленная электрическим износом и старением электронных и оптических элементов, вызывающим неконтролируемый дрейф электрических и оптических задержек τ_1 и τ_3 в трактах формирования зондирующих импульсов и повторных запускающих импульсов. Относительная погрешность измерения скорости распространения света в веществе при этом не превышает 0,2...0,5%.

Усреднение по тысяче периодов рециркуляции импульсов позволяет уменьшить случайную составляющую погрешности до 0,05...0,1%.

Для обеспечения отмеченных параметров целесообразно в качестве преобразователей использовать быстродействующие интегральные микросхемы типа PICOTURN или PICOCAP, которые вы-

полнены по CMOS технологии (компания Asam mess electronic GmbH). Так, интегральная микросхема TDC-GP2 с разрешающей способностью 50 пс, обеспечивает диапазон измерений временного интервала от 3,5 нс до 1,8 мс со скоростью передачи цифровых данных 1 МГц. При этом напряжение питания микросхемы от 1,8 до 3,6 В при токе потребления 5 мкА. Результат преобразования представляется 16-разрядным кодом. Для обработки цифровой информации целесообразно применять 32-разрядную вычислительную платформу, например с ядром ARM7, ведущих мировых производителей, например 32-разрядный микроконтроллер LPC2148 компании NXP (Philips).

Основное требование к фотодетектору заключается в обеспечении малого времени нарастания/спада (не больше 1,5...2 нс). Этому требованию отвечают фотодиоды моделей, например, SFH2332 и SFH2701 фирмы OSRAM. Аналогичным требованиям должны отвечать и быстродействующие светодиоды, например, TSFF 5200 фирмы Vishay, TSAL 5100 фирмы Kingbright.

Таким образом, разработанное устройство, реализованное на современной микроэлектронной базе, позволяет повысить точность определения скорости света в исследуемом веществе с помощью исключения систематических погрешностей уменьшения временной разрешающей способности за счет быстродействующего время-цифрового преобразования, а также уменьшить случайные погрешности за счет многократной рециркуляции импульсов и их усреднения. При этом по сравнению с рассмотренными устройствами [1—3] не нужна высокоточная фиксация совпадений зондирующих и отраженных световых импульсов и, следовательно, высокостабильные регулируемые линии задержки, визуальные подстройки и высокостабильные генераторы коротких импульсов.

Сферой применения предложенного устройства также могут быть:

— системы позиционирования, основанные на измерениях времени прохождения оптических импульсов в разных средах;

— датчики состава и свойств веществ, основанные на зависимости преломляющих свойств среды распространения оптических импульсов от процентного и гранулометрического содержания примесей или внешних влияний;

— лазерные сканеры и спектрометры, в которых должны соединиться повышенная разрешающая способность измерений длительности события или повышена разрешающая способность между событиями и широкий диапазон измерений временных интервалов.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Глазер В. Световодная техника: Введение.— Москва: Энергоиздат, 1985.
2. Котюк А. Ф., Курчатова Ю. А., Майборода Ю. П. и др. Введение в технику измерений оптико-физических параметров световодных систем.— Москва: Радио и связь, 1987.
3. Бусурин В. Н., Носов Ю. Р. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения.— Москва: Энергоиздат, 1990.
4. Скрипник Ю. О., Горкун В. В., Шевченко К. Л. Компенсаційно-тестовий метод корекції дрейфових похибок вимірювання // Вісник КНУТД.— 2012.— № 2.— С. 28—34.

A. V. Aleksashin, V. V. Gorkun, K. L. Shevchenko

Enhancement of determination accuracy of speed of light propagation through substance.

The problems of accuracy enhancement of measuring the speed of light propagation through substance and the refraction index are considered. A chart is developed and the device operation algorithm is offered. The device provides fast response and accuracy of optical parameters determination of the probed substance.

Keywords: *light impulse, error, index of refraction.*