

временное распределение акустического поля наблюдается как по длине волновода, так и по поперечному сечению. На характер распределения поля влияет положение излучателя. Смещение излучателя от продольной оси волновода приводит к появлению смещенного максимума амплитуды давления (рис.3,б). Различные вариации с положением излучателя в волноводе не приводят к уменьшению неравномерности акустического поля в волноводе. Для уменьшения флуктуаций сигнала на приемнике целесообразно использовать многоканальную систему приема и усиления сигнала, с выбором канала с максимальной амплитудой, это позволит существенно улучшить метрологические характеристики акустических приборов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грегуш П. Звуковидение: Пер. с англ. / П. Грегуш. – М.: Мир, 1982. – 232 с.
2. Бреховских Л.М. Акустика слоистых сред / Л.М. Бреховских, О.А. Годин. – М.: Наука, 1989. – 416 с. : ил. – Библиогр.: С. 387-408. – Предметный указатель: С. 409-412. – ISBN 5-02-014155-0.

Солдатов Алексей Иванович

Томский политехнический университет.
E-mail: asoldatof@mail.ru.
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел.: (3822)419605.
Кафедра ПМЭ, докторант, доцент, к.т.н.

Soldatov Alexey Ivanovitch

Tomsk Polytechnic University.
E-mail: asoldatof@mail.ru.
Lenin Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russia, Phone: (3822)419605.
Department IME, person working for doctor's degree, associate professor, cand.of science.

Селезнев Антон Иванович

Томский политехнический университет.
E-mail: seleznev@vtomske.ru.
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел.: (3822)419605.
Кафедра ПМЭ, аспирант.

Seleznev Anton Ivanovitch

Tomsk Polytechnic University.
E-mail: seleznev@vtomske.ru.
Lenin Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russia, Phone: (3822)419605.
Department IME, post-graduate student.

УДК 621.3.088

А.И. Солдатов, П.В. Сорокин, В.С. Макаров**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА МЕТОДОМ АППРОКСИМАЦИИ ОГИБАЮЩЕЙ СИГНАЛА**

Предложен новый метод определения временного положения акустического импульса, позволяющий уменьшить погрешность измерения времени распространения сигнала в акустическом тракте измерительного прибора.

Радиоимпульс; волновод; скорость нарастания; огибающая сигнала.

A.I. Soldatov, P.V. Sorokin, V.S. Makarov

CALCULATION OF ACOUSTIC PULSE SIGNAL TIME COORDINATE OF SIGNAL ENVELOPE APPROXIMATION METHOD

New method of acoustic pulse signal time coordinate calculation is proposed. This method allows to reduce measurement error of signal propagation time in acoustic section of measuring device.

Radioimpulse signal; waveguide; slew rate; signal envelope.

Определение момента прихода сигнала является основой для решения большого круга задач, решаемых в областях, связанных с необходимостью измерения времени распространения сигнала в какой-либо среде. Наиболее широко используется метод фиксации момента прихода сигнала, основанный на применении компаратора, формирующего прямоугольный импульс, передний фронт которого определяет на временной оси момент прихода сигнала. Если амплитуда и форма сигнала остаются постоянными, то погрешность определения времени распространения сигнала в среде остается постоянной и ее можно учесть. Однако на практике в процессе распространения сигнала, уменьшается его амплитуда за счет расхождения и потерь в среде. Системы автоматической регулировки усиления позволяют поддерживать амплитуду сигнала постоянной. Но если в процессе распространения сигнала меняется его форма, что особенно сильно проявляется при распространении в ограниченных средах, то применение АРУ или компаратора со «следящим» порогом в этой ситуации не решают проблемы точности определения момента прихода импульса. Фундаментальной основой данного явления служит неравенство фазовых скоростей различных мод. Поэтому в процессе распространения импульса в ограниченных средах происходит «растягивание» сигнала во времени и изменение его формы (рис. 1).

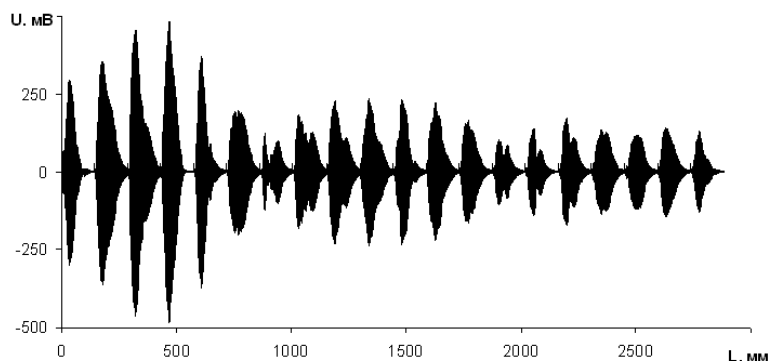


Рис. 1. Изменение формы сигнала при его распространении по волноводу

На рис. 2 показаны два сигнала, имеющих одинаковую амплитуду, но разную форму переднего фронта. Изменение длительности переднего фронта огибающей импульса на 10 %...15 % приводит к ошибке определения временного положения импульса на 2...3 периода несущей частоты (рис. 2). Эта ошибка уже не является постоянной величиной, а изменяется в зависимости от изменения длительности переднего фронта и учесть ее традиционными способами невозможно.

Для уменьшения такой ошибки предлагается новый способ определения времени прихода акустического импульса сложной формы, имеющий монотонно нарастающий передний фронт.

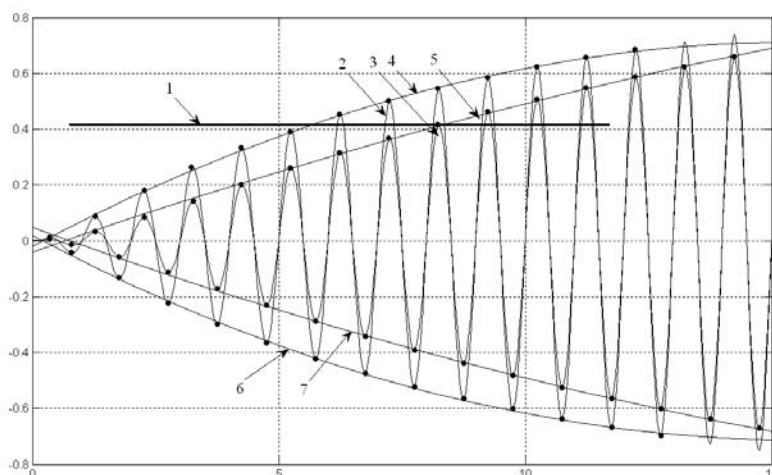


Рис. 2. Определение координаты начала импульсов методом аппроксимации огибающей сигнала полиномом второй степени, 1 – уровень порога срабатывания компаратора, 2 – первый сигнал, имеющий более высокую скорость нарастания, 3 – второй сигнал, имеющий меньшую скорость нарастания, 4 – огибающая положительных экстремумов первого сигнала, 5 – огибающая положительных экстремумов второго сигнала, 6 – огибающая отрицательных экстремумов первого сигнала, 7 – огибающая отрицательных экстремумов второго сигнала

Способ базируется на аппроксимации нарастающей части огибающей акустического импульса полиномом второй степени вида:

$$U = a \cdot t^2 + b \cdot t + c, \quad (1)$$

где U – амплитуда огибающей, t – время, a , b , c – коэффициенты полинома. В общем случае огибающие положительных и отрицательных экстремумов импульса могут быть различными. Поэтому предлагается использовать два полинома – для положительных и отрицательных экстремумов в разных периодах несущей частоты акустического импульса. Аналитическое выражение, используемое для расчёта искомого параметра, принимает вид:

$$(a_{\max} - a_{\min}) \cdot t^2 + (b_{\max} - b_{\min}) \cdot t + (c_{\max} - c_{\min}) = 0, \quad (2)$$

где индексы при коэффициентах указывают на принадлежность их к аппроксимирующим полиномам положительных и отрицательных экстремумов. Выражение (2) представляет собой квадратное уравнение, решение которого имеет вид:

$$t_{1,2} = \frac{b_{\min} - b_{\max} \pm \sqrt{(b_{\min} - b_{\max})^2 - 4 \cdot (a_{\max} - a_{\min}) \cdot (c_{\max} - c_{\min})}}{2 \cdot (a_{\max} - a_{\min})}. \quad (3)$$

Выбор правильного значения корня в каждом конкретном случае не представляет особой сложности.

Алгоритм аппроксимации полиномом второй степени основан на критерии наименьших квадратов [1]. В конечном итоге он сводится к нахождению коэффициентов аппроксимации путём решения системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n t_i^2 U_i = a \cdot \sum_{i=1}^n t_i^4 + b \cdot \sum_{i=1}^n t_i^3 + c \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2, \\ \sum_{i=1}^n t U_i = a \cdot \sum_{i=1}^n t_i^3 + b \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 + c \cdot \sum_{i=1}^n t_i, \\ \sum_{i=1}^n U_i = a \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^n t_i + c \cdot \sum_{i=1}^n 1, \end{array} \right. \quad (4)$$

где n – количество точек экстремумов, выбранных для полиномиальной аппроксимации, индекс i – текущий номер экспериментальной точки. Решение системы уравнений (4) записывается в следующем виде:

$$a = \frac{\Delta_a}{\Delta}, \quad b = \frac{\Delta_b}{\Delta}, \quad c = \frac{\Delta_c}{\Delta},$$

где символом Δ обозначены определители третьего порядка

$$\Delta = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n t_i^4 & \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 \\ \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i \\ \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i & \sum_{i=1}^n 1 \end{vmatrix}, \quad \Delta_a = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n t_i^2 \cdot U_i & \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 \\ \sum_{i=1}^n t_i \cdot U_i & \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i \\ \sum_{i=1}^n U_i & \sum_{i=1}^n t_i & \sum_{i=1}^n 1 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_b = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n t_i^4 & \sum_{i=1}^n t_i^2 \cdot U_i & \sum_{i=1}^n t_i^2 \\ \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i \cdot U_i & \sum_{i=1}^n t_i \\ \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n U_i & \sum_{i=1}^n 1 \end{vmatrix}, \quad \Delta_c = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n t_i^4 & \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 \cdot U_i \\ \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i \cdot U_i \\ \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i & \sum_{i=1}^n U_i \end{vmatrix}.$$

В отличие от метода определения момента прихода импульса с помощью компаратора с фиксированным порогом срабатывания, предлагаемый метод теоретически обеспечивает нулевую ошибку при любых линейных вариациях амплитуды сигнала. Это объясняется тем, что общий множитель всех элементов одного столбца (столбец значений, в которые входят величины U_i) может быть вынесен за знак определителя. Подстановка таких коэффициентов в выражение (3) не меняет результат его вычисления.

Предложенный метод обработки акустических импульсов был использован в ультразвуковом расходомере ксенонной смеси. Структурная схема блока обработки расходомера приведена на рис. 3.



Рис.3. Структурная схема блока обработки ультразвукового расходомера

Для определения начала импульса использовалось по три точки экстремумов для каждой огибающей. Устройство работает следующим образом. Блок управления и индикации 1 выдает разрешение на автономную работу блока формирования адреса 12 и вырабатывает импульс запуска для ультразвукового генератора 2, этим же импульсом блок формирования временного интервала 3 устанавливается в состояние логической единицы. Генератор 2 возбуждает излучатель 4. Излученный ультразвуковой импульс распространяется по контролируемой среде и принимается приемником 5, усиливается усилителем 6 и поступает на вход аналого-цифрового преобразователя 8. Одновременно сигнал с выхода усилителя 6 поступает на вход порогового устройства 7. На второй вход порогового устройства 7 подается напряжение с источника опорного напряжения 9 U_1 (рис. 4). Как только напряжение на выходе усилителя 6 превысит напряжение U_1 , выход порогового устройства 7 переключится в состояние логической 1, и сбросит блок формирования временного интервала 3 в состояние логического нуля (точка t_1 рис. 4). Этот сигнал подается на вход блока управления и индикации 1 сигнализируя о окончании формирования временного интервала, а также на вход триггера 10 и вход блока задержки 11, на выходе триггера 10 появляется логическая единица, которая разрешает работу блока формирования адреса 12 и аналого-цифрового преобразователя 8. С выхода аналого-цифрового преобразователя 8 данные поступают на вход данных оперативного запоминающего устройства 13 и записываются по адресу, сформированному блоком формирования адреса 12. Одновременно аналого-цифровой преобразователь 8 выдает импульс на блок формирования адреса 12 для формирования следующего адреса и за время преобразования аналого-цифрового преобразователя 8 на выходе блока формирования адреса 12 сформируется следующий адрес. После срабатывания блока задержки 11 на его выходе появляется импульс, который поступает на блок управления и индикации 1, сигнализируя о окончании процесса записи данных, и сбрасывает триггер 10 в состояние логического нуля. Нулевой уровень на выходе триггера запрещает работу блока формирования адреса 12 и аналого-цифрового преобразователя 8.

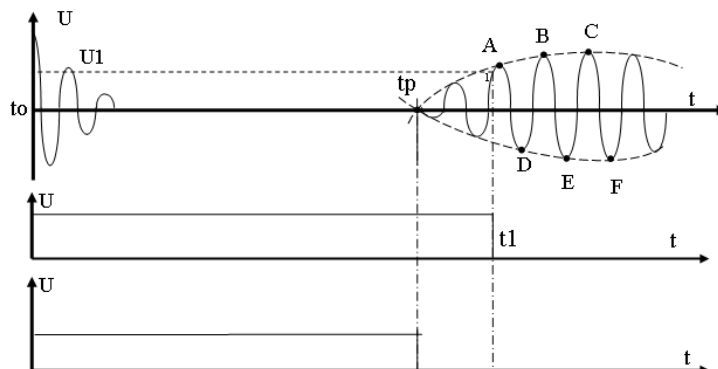


Рис. 4. Диаграммы работы ультразвукового расходомера

После этого блок управления и индикации 1 осуществляет последовательную выборку данных из оперативного запоминающего устройства 13 для определения точек экстремумов и по этим точкам составляет систему трех квадратных уравнений с тремя неизвестными, решает ее и рассчитывает время от начала импульса до срабатывания компаратора. Учет этого времени позволил уменьшить погрешность измерения скорости потока в четыре раза по сравнению с традиционным способом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андре Анго. Математика для электро- и радионженеров: Пер. с франц. – М.: Наука, 1967. – 779 с.

Солдатов Алексей Иванович

Томский политехнический университет.
E-mail: asoldatof@mail.ru.
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел.: (3822)419605.
Кафедра ПМЭ, докторант, доцент, к.т.н.

Soldatov Alexey Ivanovitch

Tomsk Polytechnic University.
E-mail: asoldatof@mail.ru.
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia, Phone: (3822)419605.
Department IME, person working for doctor's degree, associate professor, cand.of science.

Сорокин Павел Владимирович

Томский политехнический университет
E-mail: spv@yandex.ru.
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел.: (3822)419605.
Кафедра ПМЭ, аспирант.

Sorokin Pavel Vladimirovitch

Tomsk Polytechnic University.
E-mail: spv@yandex.ru.
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia, Phone: (3822)419605.
Department IME, postgraduate student.

Макаров Виктор Степанович

Томский политехнический университет

E-mail: makarov@sibmail.ru.

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел.: (3822)419605.

Кафедра ПМЭ, зав. лаб, к.т.н.

Makarov Viktor Stepanovitch

Tomsk Polytechnic University

E-mail: makarov@sibmail.ru.

Lenin Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russia, Phone: (3822)419605.

Department IME, head of laboratory, Cand. Eng. Sc.