

УДК 621.3.088

А.И. Солдатов, П.В. Сорокин, А.А. Солдатов**АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ВРЕМЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЭХО-СИГНАЛА ПРИ АППРОКСИМАЦИИ ЕГО ОГИБАЮЩЕЙ ПОЛИНОМОМ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ**

Рассмотрены факторы, влияющие на возникновение ошибок в определении точек экстремумов в одном периоде несущей частоты эхо-сигнала. Получены выражения для расчета относительной ошибки в определении максимальной амплитуды и минимального количества отсчетов в одном периоде

Экстремум; огибающая; эхо-сигнал.

A.I. Soldatov, P.V. Sorokin, A.A. Soldatov**ERRORS ANALYSIS IN TIME POSITION DETERMINATION OF AN ECHO-SIGNAL UNDER ITS ENVELOPE APPROXIMATION BY THE SECOND DEGREE POLYNOM**

The factors influencing errors occurrence in extremum points determination in one period of an echo-signal carrier frequency have been considered. Equations for a relative error in determination of maximum amplitude and minimum number of readouts in one period of time have been obtained.

Extremum; envelope; echo-signal.

Определение временного положения эхо-сигнала путем построения его огибающей и нахождения точки пересечения с временной осью позволяет существенно повысить точность ультразвуковых измерительных приборов. Для построения огибающей эхо-сигнала проводят аналого-цифровое преобразование, запоминание полученных данных, нахождение экстремумов в каждом периоде и последующее их использование для нахождения коэффициентов аппроксимирующего уравнения, решение которого дает временную координату начала эхо-сигнала [1] (рис. 1).

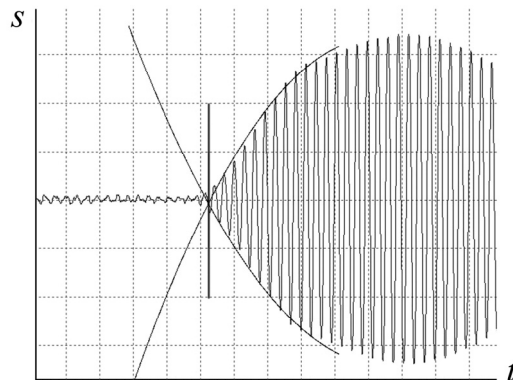


Рис. 1. Пример эхо-сигнала и его огибающей

Определим минимальную частоту дискретизации входного сигнала, обеспечивающую однозначное определение экстремумов в одном периоде эхо-сигнала. Для упрощения расчетов будем считать, что сигнал, поступающий на приемник,

имеет синусоидальный вид с сохранением фазы, частоты и амплитуды в пределах одного периода.

Если ошибка в определении максимальной амплитуды синусоидального сигнала в одном периоде должна быть менее δ , которая определяется из выражения:

$$\delta = \frac{U_m - U}{U_m},$$

где U_m – амплитуда напряжения, U – текущее значение, то можно записать выражение для определения фазы сигнала, при котором текущее значение напряжения отличается от амплитудного на заданную ошибку:

$$\sin \varphi = \delta.$$

Отсюда:

$$\varphi = \arcsin \delta.$$

Так как значение фазы, при которой текущее значение превышает ошибку лежит в интервале от φ до $\pi/2$ и от $\pi/2$ до $(\pi - \varphi)$, то следует взять удвоенное значение фазы и для расчета количества отражений удобно перейти в область значений от 0 до φ :

$$\varphi = 2 \cdot \left[\frac{\pi}{2} - \arcsin \left(1 - \frac{U}{U_m} \right) \right]. \quad (1)$$

Для получения каждого следующего отсчета через φ градусов на одном периоде необходимо сделать N отсчетов:

$$\varphi = \frac{2 * \pi}{N}. \quad (2)$$

Если брать текущее значение напряжения U по абсолютному значению, то количество отсчетов можно взять только за половину периода. Приравнивая выражения 1 и 2 и решая полученное выражение относительно N получаем

$$N = \frac{\pi}{2 \cdot [\pi / 2 - \arcsin(1 - \delta)]}. \quad (3)$$

Результат расчета, проведенный в соответствии с выражением 3, представлен на рис. 2.

Разобьем один период несущей частоты входного синусоидального сигнала на N частей в соответствии с количеством отсчетов, сделанных за один период:

$$N = \frac{f_{\text{дискр}}}{f_n},$$

где $f_{\text{дискр}}$ – частота дискретизации входного сигнала (частота работы АЦП), f_n – несущая частота входного сигнала.

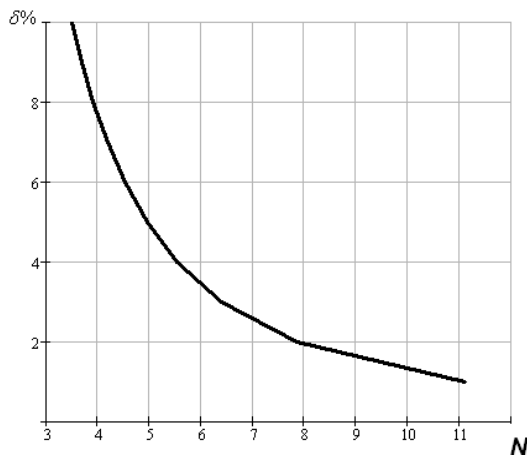


Рис. 2. Зависимость ошибки в определении максимальной амплитуды от количества отсчетов на периоде

При допустимой погрешности определения максимальной амплитуды сигнала в 5 % требуется произвести пять отсчетов за период. На рис. 3 показан пример разбиения синусоиды для N = 5.

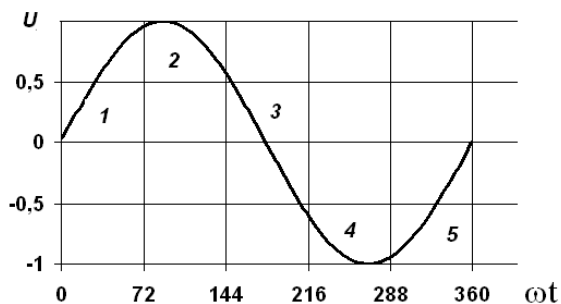


Рис. 3. Области дискретных отсчетов АЦП несущей частоты входного сигнала, 1, 2, 3, 4, 5 – области последовательных отсчетов

Совместим все области дискретных отсчетов на одном графике, так чтобы начало всех областей совпало на оси абсцисс (рис. 4). На рис. 4 линия 6 соответствует уровню 0,95 от максимального значения, а линия 7 соответствует уровню 0,95 от минимального значения амплитуды. Регистрация экстремумов с шагом $\frac{1}{5}$ периода позволяет однозначно определить экстремум во втором (в диапазоне от 0 до 36 градусов) или четвертом (от 36 до 72 градусов) отсчетах с погрешностью менее 5%.

В этом случае для двух последовательных измерений амплитуды U_1 и U_2 в точках φ_1 и $\varphi_2 = \varphi_1 + 2 \cdot \pi / N$ (рис. 4) можно записать систему уравнений:

$$\begin{cases} U_1 = U_0 \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_0); \\ U_2 = U_0 \cdot \sin(\varphi_1 + 2 \cdot \pi / N - \varphi_0). \end{cases}$$

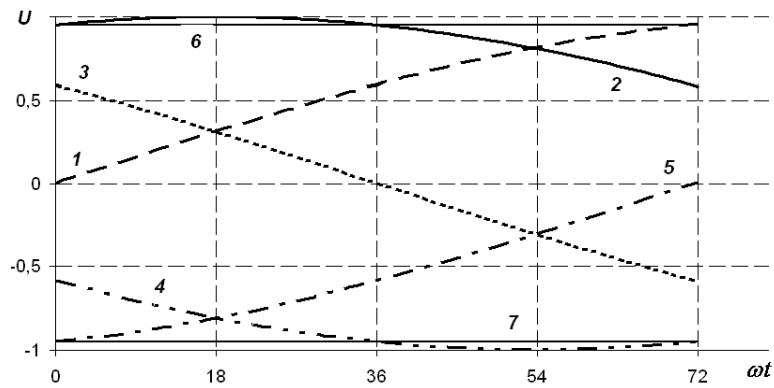


Рис. 4. Пример определения экстремумов с погрешностью 5 % при 5 отсчетах за период

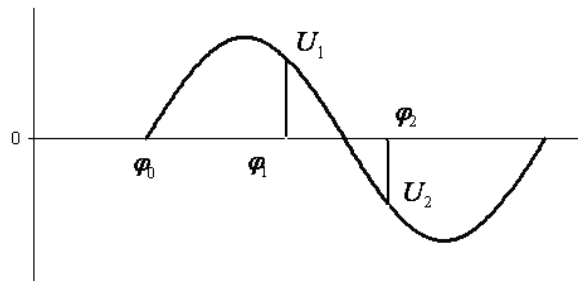


Рис. 5. Схематичное изображение двух последовательных измерений амплитуды сигнала

Решение системы уравнений дает:

$$\varphi_1 - \varphi_0 = \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin 2 \cdot \pi / N}{\frac{U_2}{U_1} - \cos 2 \cdot \pi / N} \right),$$

$$U_0 = U_1 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{\sin 2 \cdot \pi / N} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} - \cos 2 \cdot \pi / N \right)^2}. \quad (2)$$

Найдем ошибку в определении U_0 :

$$\Delta U_0 = \left| \frac{dU_0}{dU_1} \right| \cdot \Delta U_1 + \left| \frac{dU_0}{dU_2} \right| \cdot \Delta U_2. \quad (3)$$

После подстановки выражения 2 в 3 получаем

$$\Delta U_0 = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{\sin 2 \cdot \pi / N} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} - \cos 2 \cdot \pi / N \right)^2}} \cdot 2 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} - \cos 2 \cdot \pi / N \right) \cdot \left[\left(-\frac{U_2}{U_1^2} \right) \cdot \Delta U_1 + \frac{1}{U_1} \cdot \Delta U_2 \right].$$

Обозначим $\delta U_1 = \frac{\Delta U_1}{U_1}$, $\delta U_2 = \frac{\Delta U_2}{U_2}$ и, считая, что $\delta U_1 = \delta U_2 = \delta U$, получаем

$$\delta U_0 = \frac{\Delta U_0}{U_0} = \frac{2 \cdot \left| \frac{U_2}{U_1} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} - \cos 2 \cdot \pi / N \right) \right|}{1 + \frac{1}{\sin 2 \cdot \pi / N} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} - \cos 2 \cdot \pi / N \right)^2}. \quad (4)$$

Результаты расчета относительной ошибки в определении максимальной амплитуды, в соответствии с выражением (4), для различных значений отношения $\frac{U_2}{U_1}$ представлены на рис. 5.

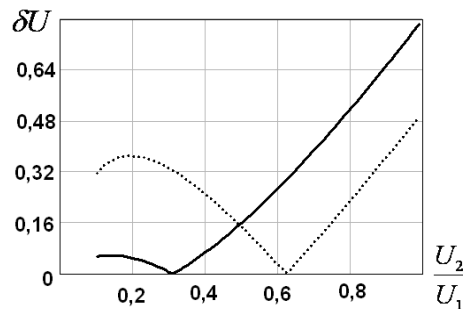


Рис. 5. Зависимость относительной ошибки в определении максимального значения амплитуды от соотношения амплитуд соседних отсчетов для различного количества отсчетов за период; сплошная линия – 5 отсчетов, пунктирная линия – 7 отсчетов

Из рис. 5 видно, что существует оптимальное значение отношений амплитуд соседних отсчетов, при котором ошибка в определении максимальной амплитуды будет минимальна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солдатов А.И., Сорокин П.В., Макаров В.С. Определение временного положения акустического импульса методом аппроксимации огибающей сигнала // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 10 (99). – С. 178-185.

Солдатов Алексей Иванович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

E-mail: asoldatof@mail.ru.

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Тел.: 83822419605; +79095497851.

Сорокин Павел Владимирович

E-mail: spv@yandex.ru.

Тел.: 83822419605; +79059905671.

Солдатов Андрей Алексеевич

НИИ ВН Национального исследовательского Томского политехнического университета.

E-mail: asoldatof@mail.ru.

634050, г. Томск, пр. Ленина, 2а.

Тел.: 83822419091.

Soldatov Alexey Ivanovitch

National Research Tomsk Polytechnic University.

E-mail: asoldatof@mail.ru.

30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Тел.: +73822419605; +79095497851.

Sorokin Pavel Vladimirovitch

E-mail: spv@yandex.ru.

Phone: 83822419605; +79059905671.

Soldatov Andrey Alexeyvitch

Institute of High Voltages of National Research Tomsk Polytechnic University.

E-mail: asoldatof@mail.ru.

2a, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Тел.: +73822419091.

УДК 621.3.088

М.А. Солдатова, П.В. Сорокин, А.А. Солдатов

**ПРИМЕНЕНИЕ ФАЗОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ВРЕМЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА**

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

Экстремум; огибающая; эхо-сигнал.

M.A. Soldatova, P.V. Sorokin, A.A. Soldatov

**USING THE PHASE SHIFT METHOD FOR CALCULATION OF ACOUSTIC
PULSE POSITION**

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.

Extremum; envelope; echo-signal.

Возможность современных однокристалльных микропроцессоров с обширной периферией позволяют использовать сложные алгоритмы обработки информации с целью определения начала ультразвукового эхо-импульса.

Одним из путей достижения этой цели является использование зависимости длительности импульса, получаемого с выхода компаратора при сравнении синусоидальных колебаний нарастающей амплитуды с фиксированным уровнем от их амплитуды $U_m = f(t_u)$ в каждом периоде сигнала.

Из рис. 1 видно, что информация о наклоне огибающей импульсного сигнала содержится в длительностях серии прямоугольных импульсов, сформированных на выходе компаратора.

Выразим амплитуду полусинусоиды на входе компаратора через длительность импульса на выходе компаратора: