

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

Солдатова Мария Алексеевна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

E-mail: asoldatof@mail.ru.

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Тел.: 83822419605.

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.

Soldatova Mariy Alexeyvna

National Research Tomsk Polytechnic University.

E-mail: asoldatof@mail.ru.

30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Phone: +73822419605.

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 534.6.08

Ю.В. Шульгина, А.И. Солдатов

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
МЕТОДОМ ДВУХ КОМПАРАТОРОВ**

Предложен новый метод обработки эхо-импульсов, позволяющий увеличить точность акустических измерений более чем в 2 раза. Рассмотренный в статье метод используется для определения местоположения камней в почках и желчном пузыре для дальнейшего дробления мощным ультразвуком.

Эхо-импульс; компаратор; ультразвук.

Yu.V. Shulgina, A.I. Soldatov

**IMPROVING ACCURACY OF ULTRASONIC MEASUREMENTS BY USING
TWO COMPARATORS METHOD**

A new method for processing the echo pulses, which can increase the accuracy of acoustic measurements of more than 2 times, is offered. This method used to determine the location of kidney-stones and gall bladder stones for their further fragmentation by using powerful ultrasound.

Echo-pulse; comparator; ultrasound.

Ультразвуковая технология – одна из немногих, позволяющая измерять объемы и расстояния в различных средах: газах жидкостях и твердых телах, что позволяет проводить диагностику всего организма, в том числе обнаружение камней в почках и желчном пузыре.

Погрешность измерения расстояния связана с различным затуханием и различной скоростью распространения сигнала при прохождении разных тканей. В связи с этим, ультразвуковой импульс претерпевает существенные изменения, и в зависимости от расстояния, у принятого сигнала меняется не только амплитуда, но и длительность переднего фронта огибающей, что приводит к возникновению ошибки измерения. Существенно повысить точность измерения можно, используя современные методы обработки эхо-сигналов. Одним из таких методов является метод двух компараторов с отличающимися порогами срабатывания.

Срабатывание первого компаратора, имеющего уровень U_1 , происходит в момент времени t_1 , срабатывание второго компаратора, имеющего уровень U_2 , происходит в момент времени t_2 . Построение прямой по координатам этих точек позволяет найти временную координату начала эхо-импульса t_p из выражения

$$t_p = t_1 - \frac{U_1}{U_2 - U_1} \cdot (t_2 - t_1) \quad (1)$$

Определим значение ошибки, получаемое этим методом для линейного нарастания огибающей переднего фронта эхо-импульса:

$$U_{i+1}^{\max} = U_i^{\max} + k \cdot U_1, \quad (1)$$

где $i = 0, 1, \dots, k$ – тангенс угла наклона переднего фронта огибающей импульса, U_1 – пороговое напряжение первого компаратора.

Максимальные ошибки в моментах регистрации уровней получаются тогда, когда величины уровней U_1 и U_2 окажутся на уровне максимумов предыдущих пиков (рис. 1).

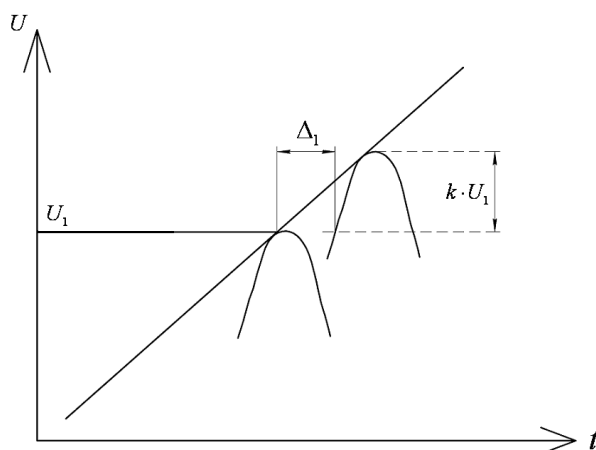


Рис. 1. Возникновения ошибки за счет первого компаратора

Максимальная амплитуда i -го периода, после срабатывания первого компаратора определяется из выражения

$$U_i^{\max} = \frac{U_1}{\cos \frac{\Delta\varphi_1}{2}}$$

С учетом выражения (1), можно определить угол:

$$\cos \frac{\Delta\varphi_1}{2} = \frac{U_1}{U_1 + k \cdot U_1}$$

Отсюда

$$\frac{\Delta\varphi_1}{2} = \arccos \frac{1}{1+k}$$

Зная угол можно найти ошибку в определении времени первого отсчета (рис. 1):

$$\Delta_1 = \lambda \cdot \left[1 - \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \arccos \left(\frac{1}{1+k} \right) \right]$$

Аналогично для второго отсчета

$$U_2 + k \cdot U_1 = \frac{U_2}{\cos \frac{\Delta\varphi_2}{2}}$$

Обозначим

$$q = \frac{U_1}{U_2}$$

На рис. 2 показаны два крайних случая: первый случай, когда первый отсчет имеет максимальную ошибку, а второй отсчет имеет минимальную ошибку, и второй случай обратный, когда первый отсчет имеет минимальную ошибку, а второй отсчет имеет максимальную ошибку. Точки *A* и *B* соответствуют идеальной огибающей, точки *C* и *D* соответствуют ошибкам в отсчетах.

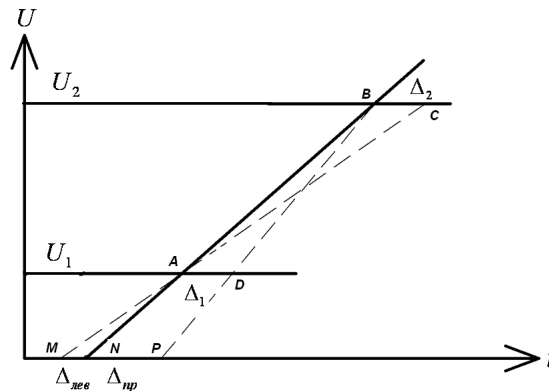


Рис. 2. Построение огибающей переднего фронта эхо-импульса по двум отсчетам: прямая *NB* – идеальный случай; прямая *MC* – при наличии ошибки второго компаратора; прямая *BP* – при наличии ошибки первого компаратора

Из подобия треугольников ΔADB и ΔNBP можно записать выражение

$$\frac{\Delta_{np}}{\Delta_1} = \frac{U_2}{U_2 - U_1}.$$

Отсюда

$$\Delta_{np} = \Delta_1 \cdot \frac{1}{1 - q}.$$

Из подобия треугольников ΔABC и ΔMAN можно записать выражение

$$\frac{\Delta_{лев}}{\Delta_2} = \frac{U_1}{U_2 - U_1}.$$

Отсюда

$$\Delta_{лев} = \Delta_2 \cdot \frac{q}{1 - q}.$$

Результирующая ошибка находится как сумма ошибок:

$$\Delta_{лев} + \Delta_{np} = \Delta_2 \cdot \frac{q}{1 - q} + \Delta_1 \cdot \frac{1}{1 - q}.$$

После проведения математического анализа, было получено выражение для определения относительной ошибки при 95 % доверительном интервале:

$$\frac{\Delta}{\lambda} = \frac{1}{1 - q} \cdot \left[1 + q - \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\arccos \frac{1}{1 + k} + q \cdot \arccos \frac{1}{1 + k} \right) \right]. \quad (3)$$

Чем круче огибающая переднего фронта (чем больше k), тем меньше ошибка в определении начала эхо-импульса. С увеличением разницы в установлении порогов компараторов U_1 и U_2 (чем меньше q) уменьшается ошибка в определении времени начала эхо-импульса. Влияние разницы в порогах проявляется сильнее, чем влияние крутизны переднего фронта огибающей.

Максимальная же ошибка получается при срабатывании компараторов в один период принятого сигнала. Однако такой случай маловероятен и в статье не рассматривается.

Для оценки правильности полученных теоретических результатов с использованием этого метода были проведены лабораторные испытания, которые показали, что точность измерений напрямую зависит от величины выбранных порогов срабатывания компараторов.

На рис. 3. приведены графики теоретического и экспериментального значения зависимости максимальной ошибки измерения от величины порога второго компаратора, при этом порог первого компаратора был выбран немного выше уровня шумов.

Из графика видно, что с увеличением значения порога срабатывания второго компаратора уменьшается погрешность измерения при постоянном уровне срабатывания первого компаратора. Отличие экспериментальной и расчетной зависимости объясняется разной скоростью нарастания огибающей переднего фронта, что не было учтено при моделировании.

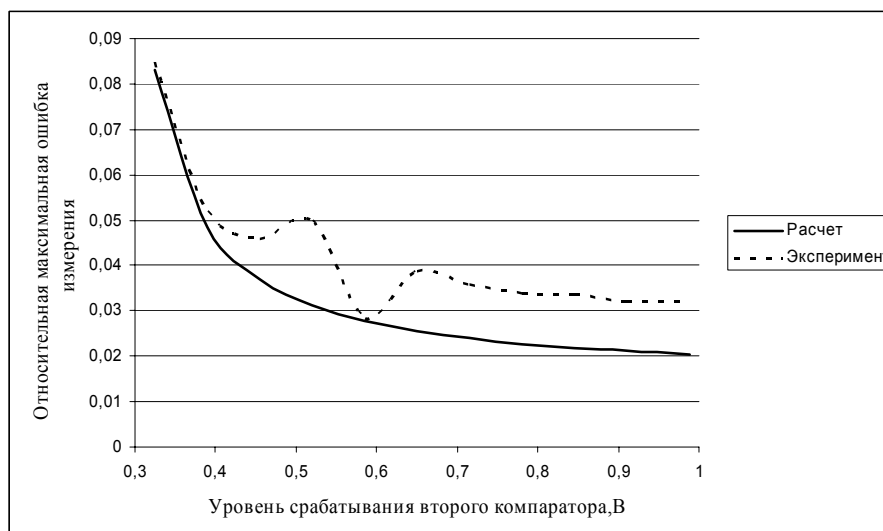


Рис. 3. График зависимости максимальной ошибки измерения от величины порога срабатывания второго компаратора

Таким образом, применение метода двух компараторов позволяет значительно увеличить точность измерения ультразвуковых локационных устройств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Soldatov A.I., Chiglinseva J.V.* Ultrasonic borehole depth-gauge // International siberian conference on control and communications (SIBCON-2009). Proceeding – Tomsk, March 27-28, 2009. – Tomsk: The Tomsk IEEE Chapter & Student Branch, 2009. – P. 313-317.
2. *Солдатов А.И., Чиглинцева Ю.В.* Теоретическое и экспериментальное исследование акустического тракта скважинного глубиномера // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315, № 4. – С. 85-89.

Шульгина Юлия Викторовна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет в г. Томске.

E-mail: y-shulgina@mail.ru.

634050, г. Томск, ул. Тимакова, 12.

Тел.: 83822419605.

Солдатов Алексей Иванович

E-mail: asoldatof@mail.ru.

Shuldina Yulia Viktorovna

National researching Tomsk politecnic university.

E-mail: y-shulgina@mail.ru.

12, Timakova street, Tomsk, 634050, Russia.

Phone: +73822419605.

Soldatov Aleksey Ivanovich

E-mail: asoldatof@mail.ru.