

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для одностороннего бесконтактного определения толщины материалов и изделий с помощью ультразвуковых колебаний при больших изменениях в зазоре между излучателем-приемником и контролируемым изделием.

Для определения толщины изделий наиболее широкое применение получили ультразвуковые время-импульсные способы, в которых непосредственно измеряется время прохождения ультразвукового импульса в слое материала или в изделии, а толщина определяется с учетом скорости распространения ультразвука (Калинин В.А., Праницкий А.А., Цеслер Л.Б. Современные ультразвуковые толщиномеры. - М.: Машиностроение, 1972. - С.15). При измерении времени распространения t_p ультразвукового импульса в изделии от поверхности ввода импульсов до данной поверхности изделия и обратно толщину определяют из соотношения $h = ct_p/2$, где c - скорость ультразвуковых колебаний в среде распространения. Большая погрешность измерения времени распространения импульса ограничивает точность измерения толщины изделия.

Известен ультразвуковой способ определения толщины, основанный на измерении частоты повторения многократно отраженных в изделии импульсов ультразвуковых колебаний (Приборы для неразрушающего контроля изделия: Справочник. - Кн.2 / Под. ред. В.В. Клюева. - М.: Машиностроение, 1988. - С.274). Если очередной зондирующий импульс возбуждается в момент прихода отраженного импульса (эхо-импульса), то при частоте следования последовательности зондирующих импульсов F толщину определяют из соотношения $h = c/2F$.

При бесконтактном способе определения толщины основным источником погрешности является непостоянство зазора между излучателем и контролируемым изделием (Шкарлет Ю.М. бесконтактные методы ультразвукового контроля. - М.: Машиностроение. - С.38).

Известен также ультразвуковой бесконтактный способ определения толщины (Королев М.В. Эхо-импульсные толщиномеры. - М.: Машиностроение, 1980. - С.8), заключающийся в создании ультразвуковых импульсов, зондировании этими импульсами через разделительную среду контролируемого изделия, приеме отраженных импульсов, измерении интервала времени между двумя соседними отраженными импульсами и расчете толщины по формуле. При измерении интервала времени t между двумя импульсами, отраженными от наружной и донной поверхности изделия, толщина определяется соотношением $h = ct/2$, где c - скорость распространения ультразвуковых колебаний внутри изделия.

Однако измерение временных интервалов между слабыми отраженными импульсами на фоне мощных зондирующих импульсов сопровождается большими погрешностями, что не позволяет достоверно определять небольшое изменение толщины контролируемого изделия при бесконтактном методе контроля.

Известны устройства для ультразвукового контроля толщины (Гершгал Д.А., Фридман В.М.

Ультразвуковая технологическая аппаратура. - М.: Энергия, 1976. - С.238), которые содержат генератор электрических импульсов, к выходу которого подключен пьезоэлектрический преобразователь, приемный усилитель, задающий генератор и осциллографический индикатор. Задающий генератор выполняет роль синхронизатора и обеспечивает работу пьезоэлектрического преобразователя в режиме излучатель-приемник и селективный прием отраженных импульсов на фоне помех. Однако невысокая помехозащищенность и разрешающая способность осциллографического индикатора не позволяют контролировать малые изменения толщины различных изделий.

Более чувствительными и помехозащищенными являются эхо-импульсные толщиномеры с временным селектором и цифровым отсчетом (Королев М.В. Безэталонные ультразвуковые толщиномеры. - М.: Машиностроение, 1985. - С.11 - 12). Эти устройства содержат генератор электрических импульсов, пьезоэлектрический преобразователь, временной селектор, усилитель, линию задержки, пороговое устройство и преобразователь временного интервала в число импульсов, которое подсчитывается цифровым счетчиком. Линия задержки используется для компенсации временной задержки при прохождении зазора между пьезоэлектрическим преобразователем и контролируемым изделием.

Известно также устройство для ультразвукового контроля толщины (Авт. св. СССР №1747894, кл. G01B17/02, 1992), содержащее высокочастотный генератор, к выходу которого через первый ключ подсоединен усилитель мощности и пьезоэлектрический преобразователь, последовательно соединенные высокочастотный избирательный усилитель с автоматической регулировкой усиления, детектор и фильтр нижних частот, формирователь импульсов, одновибратор, соединенный выходом с управляющим входом первого ключа, второй ключ и исполнительный узел. В состав устройства также входит первый фазовращатель, включенный между выходом высокочастотного генератора и первым ключом, второй фазовращатель, включенный между выходом высокочастотного генератора и вторым входом детектора, делитель частоты и синхронный детектор, вторым входом соединенный с выходом делителя частоты.

Устройство позволяет измерять отклонения толщины контролируемого изделия без непосредственного контакта пьезоэлектрического преобразователя с его поверхностью. Однако изменение зазора между пьезоэлектрическим преобразователем и изделием требует повторный калибровки, что часто невозможно, например, при движении пьезоэлектрического преобразователя вдоль контролируемого изделия. При одностороннем зондировании изделия возникают большие погрешности из-за наложения отраженных импульсов на зондирующие.

Задачей изобретения является создание такого ультразвукового бесконтактного способа и устройства для определения толщины, в которых введение новых операций по регулированию частоты следования зондирующих импульсов и новой расчетной формулы в способе, а также

новых блоков в систему регулирования в устройстве, позволило бы обеспечить высокую точность определения толщины изделия при непостоянстве зазора между пьезоэлектрическим преобразователем и поверхностью изделия.

Поставленная задача решается тем, что в ультразвуковом способе определения толщины, заключающийся в создании ультразвуковых импульсов, зондировании этими импульсами через разделительную среду контролируемого изделия, приеме отраженных импульсов, измерении интервала времени между двумя отраженными импульсами и расчете по формуле, согласно изобретению, в принятой последовательности импульсов подавляют зондирующие импульсы, формируют две последовательности электрических прямоугольных импульсов с длительностью импульсов в одной из них, равной интервалу времени между соседними отраженными импульсами, с длительностью между импульсами и в другой, равной разности периода повторения зондирующих импульсов и длительностью интервала времени между соседними отраженными импульсами, сравнивают постоянные составляющие напряжений последовательностей прямоугольных импульсов, регулируют период повторения зондирующих импульсов до достижения равенства сравниваемых напряжений, измеряют в момент равенства сравниваемых напряжений установившуюся частоту следования зондирующих импульсов, а толщину h определяют из соотношения

$$h = c/4F,$$

где c - скорость распространения ультразвуковых колебаний внутри контролируемого изделия; F - установившаяся частота следования зондирующих импульсов.

Поставленная задача решается также тем, что в устройство, содержащее высокочастотный генератор, к выходу которого через первый ключ подключен усилитель мощности и пьезоэлектрический преобразователь, через второй ключ последовательно соединенные высокочастотный избирательный усилитель с автоматической регулировкой усиления, детектор и фильтр нижних частот, формирователь импульсов, одновибратор, соединенный выходом с управляющим входом первого ключа и исполнительный узел, согласно изобретению введены генератор импульсов регулируемой частоты, цифровой частотомер, дифференциальный усилитель и симметричный триггер, при этом счетный вход симметричного триггера соединен с выходом формирователя импульсов, выходы симметричного триггера соединены с входами дифференциального усилителя, выход которого через исполнительный узел соединен с управляющим входом генератора импульсов регулируемой частоты, соединенного выходом с цифровым частотомером и входом одновибратора, инверсный выход которого соединен с управляющим входом второго ключа, который включен между входом пьезоэлектрического преобразователя и входом высокочастотного избирательного усилителя.

Благодаря введению операции подавления зондирующих импульсов и формирования двух последовательностей прямоугольных импульсов с

разной длительностью, осуществляется сравнение интервала времени между двумя отраженными импульсами и периода повторения зондирующих импульсов. Изменение частоты следования зондирующих импульсов позволяет установить такой период повторения зондирующих импульсов, при котором интервал времени между соседними отраженными импульсами становится в два раза меньше этого периода. В результате можно измерить установившуюся частоту следования зондирующих импульсов и по предложенному соотношению определить толщину зондирующего изделия независимо от величины зазора.

Введение генератора импульсов регулируемой частоты, цифрового частотомера, дифференциального усилителя и симметричного триггера, счетный вход которого соединен с выходом формирователя импульсов, подключенного к выходу фильтра нижних частот, выходы триггера соединены со входами дифференциального усилителя, выход которого через исполнительный узел соединен с управляющим входом генератора импульсов, соединенного выходом с цифровым частотомером и входом одновибратора, инверсный вход которого соединен с управляющим входом второго ключа, который включен между входом пьезоэлектрического преобразователя и входом высокочастотного избирательного усилителя в устройство для ультразвукового бесконтактного контроля толщины, содержащее высокочастотный генератор, к выходу которого через первый ключ подключен усилитель мощности и пьезоэлектрический преобразователь, последовательно соединенные высокочастотный избирательный усилитель с автоматической регулировкой усиления, детектор и фильтр нижних частот, формирователь импульсов, одновибратор, соединенный выходом с управляющим входом первого ключа, второй ключ и исполнительный узел, позволяет обеспечить высокую точность определения толщины изделия вследствие возможности осуществления новых операций по регулированию частоты следования зондирующих импульсов, позволяющих определить толщину изделия по зависимости от установившейся частоты следования зондирующих импульсов.

Функциональная схема устройства для ультразвукового контроля толщины представлена фиг.1, а на фиг.2 изображены эпюры импульсов и электрических напряжений в различных блоках схемы.

Устройство содержит высокочастотный генератор 1, первый ключ 2, генератор 3 импульсов регулируемой частоты, одновибратор 4, усилитель мощности 5, пьезоэлектрический преобразователь 6, второй ключ 7, высокочастотный избирательный усилитель 8 с автоматической регулировкой усиления, детектор 9, фильтр нижних частот 10, формирователь импульсов 11, симметричный триггер 12, дифференциальный усилитель 13, исполнительный узел 14, цифровой частотомер 15. Контролируемое изделие обозначено позицией 16.

Высокочастотный генератор 1 через ключ 2, который управляется импульсным генератором 3 через одновибратор 4, соединен с усилителем

мощности 5, выходные импульсы которого возбуждают пьезоэлектрический преобразователь 6. Излучаемые импульсы зондируют контролируемый объект 16. Отраженные от стенок изделия импульсы попадают на пьезоэлектрический преобразователь 6. К выходу преобразователя 6 через ключ 7 подключены последовательно соединенные высокочастотный избирательный усилитель 8, детектор 9, фильтр нижних частот 10, формирователь импульсов 11 и симметричный триггер 12. Прямой и инверсный выходы триггера 12 соединены с входами дифференциального усилителя 13, к выходу которого через исполнительный узел подключен управляющий вход генератора импульсов 3. К выходу генератора 3 подключен цифровой частотомер 15, а инверсный выход одновибратора 4 соединен с управляющим входом ключа 7.

Ультразвуковой бесконтактный способ определения толщины осуществляется следующим образом.

Высокочастотные электрические колебания фиксированной частоты генератора 1 (фиг.1) поступают на ключ 2, который управляется импульсами генератора 3 с длительностью, задаваемой одновибратором 4. При замыкании ключа 2 на время, определяемое задержкой одновибратора 4, формируются радиоимпульсы, которые после усиления в усилителе мощности 5 преобразуются в ультразвуковые импульсы пьезоэлектрическим преобразователем 6, ультразвуковые импульсы с начальным периодом повторения T (фиг.2,а) излучаются в направлении контролируемого изделия через разделительную среду и зондируют его импульсы, отраженные от стенок изделия 16, принимаются пьезоэлектрическим преобразователем 6 (фиг.2,б) и вновь преобразуются в электрические радиоимпульсы.

Отраженные от внутренней стенки изделия зондирующие ультразвуковые импульсы задерживаются относительно излученных на время прохождения разделительной среды

$$\tau_1 = 2l/c_0, \quad (1)$$

где l - расстояние до контролируемого изделия,
 c_0 - скорость распространения ультразвуковых колебаний в разделительной среде.

Зондирующие импульсы, проникшие в изделие и отраженные от наружной стенки, задерживаются на время

$$\tau_2 = 2(l/c_0 + h/c), \quad (2)$$

где h - толщина изделия;
 c - скорость распространения ультразвуковых колебаний внутри изделия.

Принятые импульсы, отраженные от двух стенок изделия, образуют вначале неравномерную последовательность импульсов (фиг.2,б), в которой временной интервал между соседними принятыми импульсами определяются разностью задержек (1) и (2)

$$\Delta\tau_1 = \tau_2 - \tau_1 = 2h/c. \quad (3)$$

При этом период повторения пар отраженных импульсов определяется периодом повторения зондирующих импульсов $T = 1/F$, где F - начальное значение частоты генератора 3.

Принятые и возбуждающие радиоимпульсы поступают на избирательный усилитель 8, настроенный на частоту генератора 1 и имеющий автоматическую регулировку усиления, через

ключ 7, который управляется с инверсного выхода одновибратора 4. При противофазной работе ключей 2 и 7 на усилитель 8 проходят только отраженные от стенок изделия импульсы, т.к. в моменты излучения возбуждающих импульсов при замкнутом ключе 2 ключ 7 разомкнут. Радиоимпульсы, прошедшие через ключ 7, усиливаются высокочастотным избирательным усилителем 8 с автоматической регулировкой усиления и выпрямляются детектором 9. На выходе фильтра 10 нижних частот создаются видеоимпульсы, из которых формирователем 11 формируются короткие электрические импульсы, поступающие на счетный вход симметричного триггера 12.

На одном выходе симметричного триггера 12 формируется последовательность однополярных прямоугольных импульсов, длительность которых равна временному интервалу между соседними электрическими импульсами (фиг.2,в)

$$\Delta\tau'_1 = \Delta\tau_1 = 2h/c, \quad (4)$$

а период повторения равен T .

Пауза между прямоугольными импульсами определяется выражением

$$\Delta\tau'_n = T_1 - \Delta\tau'_1 = T_1 - 2h/c. \quad (5)$$

На другом инверсном выходе симметричного триггера 12 формируется также последовательность прямоугольных импульсов, длительность которых равна разности периода повторения электрических импульсов и длительности временного интервала между соседними электрическими импульсами (фиг.2,г)

$$\Delta\tau''_n = \Delta\tau'_n = T_1 - 2h/c, \quad (6)$$

$$\Delta\tau''_n = \Delta\tau'_n = 2h/c. \quad (7)$$

Противофазные последовательности прямоугольных импульсов (4), (5) и (6), (7) воздействуют на входы дифференциального усилителя 13.

На выходе дифференциального усилителя 13 вследствие усиления разности импульсных напряжений формируется знакопеременная последовательность прямоугольных импульсов (фиг.2,д) с длительностями, равными соответственно длительностям импульсов (4) и (6). Постоянная составляющая прямоугольных импульсов одной полярности (фиг.2,д)

$$U_1 = U_0(\Delta\tau'_n/T_1) = U_0(2h/cT_1), \quad (8)$$

а постоянная составляющая прямоугольных импульсов другой полярности

$$U_2 = U_0(\Delta\tau''_n/T_1) = U_0(1 - 2h/cT_1), \quad (9)$$

где U_0 - амплитуда прямоугольных импульсов.

Сравнение постоянных составляющих напряжений последовательностей прямоугольных импульсов (8) и (9) осуществляется в исполнительном узле 14, в качестве которого может быть использован электродвигатель или интегратор, который заряжается напряжением (8) и разряжается напряжением (9). Разность сравниваемых напряжений, которая накапливается на выходе исполнительного узла 14, изменяет частоту следования импульсов генератора 3, воздействуя на его управляющий вход.

В процессе регулирования частоты следования импульсов изменяется и соотношение между временным интервалом принятых импульсов (3) и периодом повторения зондирующих импульсов. Процесс автоматического регулирования частоты

импульсного генератора 3 длится до тех пор, пока за счет изменения периода следования импульсов не установится равномерная последовательность отраженных от стенок изделия импульсов (фиг.2,е). При этом установившийся период повторения зондирующих импульсов становится равным временному интервалу между двумя отраженными импульсами. Установление указанного соотношения между периодом повторения импульсов и временным интервалом соответствует достижению равенства сравнимых напряжений

$$U_1 = U_2. \quad (10)$$

Из равенства (10) с учетом значений напряжений (8) и (9) следует

$$4h/cT_2 = 1. \quad (11)$$

Из соотношения (11) определяют толщину

$$h = \frac{cT_2}{4} = \frac{c}{4F_2}, \quad (12)$$

где F_2 - установившееся значение частоты следования импульсов генератора 3.

Частоту следования импульсов измеряют цифровым частотомером 14. С учетом скорости распространения ультразвуковых колебаний внутри изделия и частоты следования ультразвуковых импульсов определяют по формуле (12) толщину контролируемого изделия.

Так, при измерении толщины стальной трубы в диапазоне от $h_{\max} = 20\text{мм}$ до $h_{\min} = 5\text{мм}$ и скорости распространения ультразвуковых колебаний внутри материала трубы $c = 5900\text{м/с}$ частота следования импульсов меняется следующим образом

$$F_{\min} = \frac{c}{4h_{\max}} = \frac{5,9 \cdot 10^3}{46 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 76 \text{ кГц};$$

$$F_{\max} = \frac{c}{4h_{\min}} = \frac{5,9 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^{-3}} = 1,2 \text{ МГц}.$$

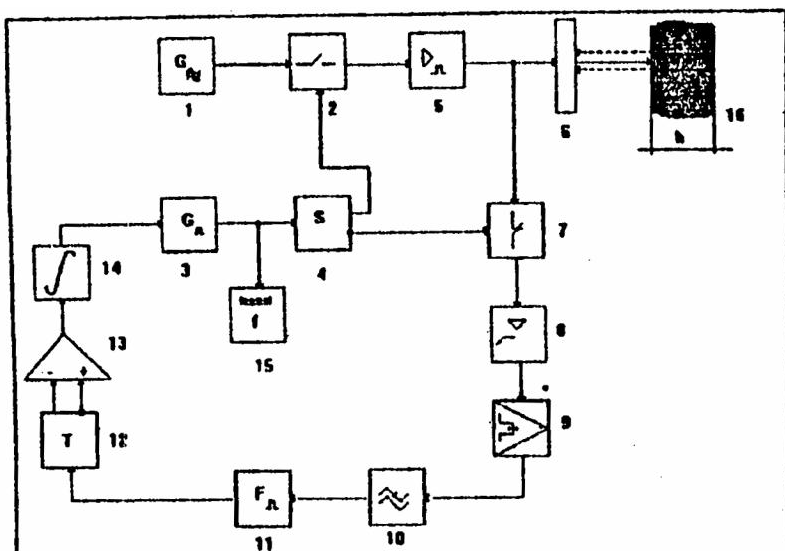
Для регулирования частоты следования импульсов в случае изменения толщины изделий в широких пределах в качестве исполнительного узла целесообразно использовать электродвигатель. При контроле отклонений толщины-электрический интегратор.

Устройство ультразвукового бесконтактного контроля толщины работает следующим образом.

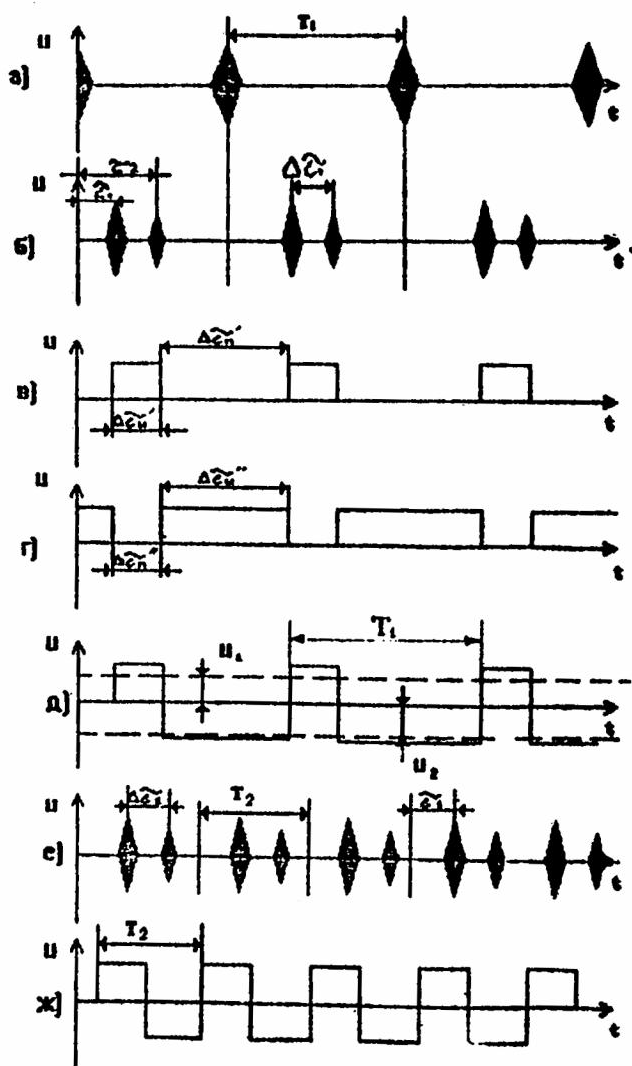
Вначале частоту генератора импульсов 3 устанавливают такой, чтобы период следования импульсов значительно превышал ожидаемое время прохождения ультразвуком толщины контролируемого изделия ($T_1 = 1/F_1 \geq (5 - 10)h$). Отраженные от изделия 16 ультразвуковые импульсы после преобразования в электрические усиливаются избирательным усилителем 8, настроенным на несущую частоту этих импульсов, которая задается высокочастотным генератором $1/5 - 10\text{МГц}$). Автоматическая регулировка усиления обеспечивает постоянство амплитуды принятых импульсов при различном зазоре. Детектором 9 и фильтром нижних частот 10 формируются пары видеоимпульсов, следующие с частотой генератора 3. Формирователь импульсов настраивается по порогу срабатывания так, чтобы однополярные импульсы создавались только из первой пары отраженных импульсов, а последующие эхоимпульсы с существенно меньшей амплитудой в запуске симметричного триггера 12 не участвовали.

Противофазные последователи прямоугольных импульсов симметричного триггера 12 вычитаются, а их разность усиливается дифференциальным усилителем 13. Исполнительный узел 14 (двигатель или интегратор) реагирует только на асимметрию прямоугольного знакопеременного напряжения, которое образуется на выходе дифференциального усилителя. При начальной частоте F напряжение на выходе дифференциального усилителя сильно асимметрично ($h \ll 2T_1$). Оно содержит постоянную составляющую такой полярности, которая должна повышать частоту следования генератора 3. Исполнительный узел 14 выделяет эту постоянную составляющую или формирует управляющий сигнал, пропорциональный этой составляющей. Процесс автоматического регулирования частоты генератора 3 заканчивается при достижении временной симметрии выходного напряжения дифференциального усилителя. При этом устанавливается обратно пропорциональная зависимость между установившейся частотой генератора F и толщиной h контролируемого изделия 16 согласно соотношения (12). В качестве цифрового частотомера 15 целесообразно использовать программируемый микропроцессорный (вычислительный) частотомер, например, ЧЗ-65. Если в его память ввести значение скорости распространения ультразвуковых колебаний внутри изделия, то по его цифровому табло можно непосредственно считывать толщину контролируемого изделия.

Предложенный способ и устройство целесообразно использовать для контроля толщины стенок подземных трубопроводов диаметром 720 - 1200мм с относительной погрешностью не более 1,5% при перемещении с потоком жидкости или газа диагностического зонда с ультразвуковыми сенсорами.



Фиг. 1



Фиг. 2