

Изобретение относится к технике ультразвукового контроля и может быть использовано для измерения скорости звука в жидких средах.

Известен измеритель скорости звука, содержащий последовательно соединенные электроакустический преобразователь и фазометр [Серавин Г. Н. Измерение скорости звука в океане. - Л., Гидрометеиздат, 1979. - с. 52-54]

Однако известный измеритель скорости звука не позволяет исключить неоднозначность показаний вследствие того, что фазометр не различает фазовых сдвигов, отличающихся на целое число периодов, что приводит к погрешностям измерений и отрицательно сказывается на точности измерений скорости звука.

Наиболее близким к заявляемому устройству По технической сущности и достигаемому результату является устройство для измерения скорости звука, содержащее последовательно соединенные мультивибратор, пьезоэлектрический преобразователь и находящийся на фиксированном расстоянии от него отражатель [Авт св. № 1386853, кл. G01 Н 5/00, 1988].

Однако устройство - прототип обладает низкой помехоустойчивостью, что можно пояснить следующим образом В устройстве-прототипе мультивибратор выполнен на двух транзисторах. При этом коллектор второго транзистора, являющийся вторым выходом мультивибратора соединен с базой первого транзистора, являющейся вторым входом мультивибратора Такое соединение элементов образует положительную обратную связь. Тогда, в момент формирования импульса ударного возбуждения, когда возникают электрические помехи, за счет положительной обратной связи в мультивибраторе получаются автоколебания с частотами кратными основной. Это отрицательно сказывается на точности измерения скорости звука и ограничивает применение устройства-прототипа.

В основу настоящего изобретения поставлена задача усовершенствования функциональной схемы устройства для измерения скорости звука путем блокировки автоколебаний в мультивибраторе с частотами кратными основной, что обеспечивает компенсацию на выходе мультивибратора погрешности измерений основной частоты, повышая при этом помехоустойчивость устройства и точность измерений скорости звука.

Эта задача решается устройством для измерения скорости звука, содержащим последовательно соединенные мультивибратор, пьезоэлектрический преобразователь и отражатель, в котором согласно изобретению, оно снабжено функционально-корреляционным преобразователем при этом вход функционально-корреляционного преобразователя соединен со вторым входом мультивибратора, а выход - со вторым входом мультивибратора и функционально-корреляционный преобразователь выполнен из последовательно соединенных амплитудного дискриминатора, вход которого является входом функционально-корреляционного преобразователя, коммутатора и детектора нуля, второй вход которого соединен со вторым выходом амплитудного дискриминатора, а к выходу детектора нуля, который является выходом функционально-корреляционного преобразователя, входами подключены, соответственно, микро-ЭВМ и одновибратор, выход которого соединен со вторым входом коммутатора.

Совокупность всех существенных признаков предлагаемой конструкции устройства для измерения скорости звука, включая отличительные в схемах устройства и функционально-корреляционного преобразователя, позволяют получить импульс ударного возбуждения, который формируется на основе привязки сигнала на втором выходе мультивибратора к нулевому уровню, и независимым от уровня электрических помех, а также позволяют получить код, компенсирующий погрешность измерений при обеспечении требуемой помехоустойчивости, что достигается путем статистической обработки сигналов реализуя при этом алгоритм функционально-корреляционного преобразования информации, обеспечивая таким образом повышение точности измерений скорости звука.

Алгоритм функционально-корреляционного преобразования реализуется следующим образом.

Полезный сигнал на втором выходе мультивибратора $x(t)$ представляет собой импульс

$$x(t) = \begin{cases} 0; [t < 0]; \\ U \sin \omega t; [0 < t < T_0]; \\ 0; [T_0 < t < T]. \end{cases} \quad (1)$$

с корреляционной функцией

$$R_x(\tau) = R_x(0) \cos \omega \tau, \quad (2)$$

а помеха $n(t)$ - случайный процесс с корреляционной функцией

$$R_n(\tau) = R_n(0) \exp(-2 \omega \tau), \quad (3)$$

где $\omega = 2 \pi / T_0$;

T_0 - период собственных колебаний пьезоэлектрического преобразователя;

$T \gg T_0$ - период следования импульсов на выходе мультивибратора;

V - амплитуда импульса;

τ - временной сдвиг;

t - текущее время.

Учитывая, что сигнал и помеха статистически независимы, следовательно, корреляционную функцию $R_u(\tau)$ суммарного сигнала можно определить по формуле

$$R_u(\tau) = R_x(\tau) + R_n(\tau), \quad (4)$$

где $R_x(\tau)$ - корреляционная функция полезного сигнала;

$R_n(\tau)$ - корреляционная функция помехи.

Выразим $R_x(\tau)$ и $R_n(\tau)$ в(4) через нормированные $r_x(\tau)$ и $r_n(\tau)$ корреляционные функции

$$r_x(\tau) = \cos \omega \tau ; \quad (5)$$

$$r_n(\tau) = \exp(-2 \omega \tau), \quad (6)$$

тогда получим

$$R_x(\tau) = R_x(0)r_x(\tau); \quad (7)$$

$$R_n(\tau) = R_n(0)r_n(\tau). \quad (8)$$

Подставляя (7) и (8) в (4), найдем

$$R_u(\tau) = R_x(0)[r_x(\tau) + R_x^{-1}(0)R_n(0)r_n(\tau)] \quad (9)$$

В (9) $I = R_n(0)R_x^{-1}(0) < 1$ - отношение помеха-сигнал, тогда, учитывая, что в (2) $R_x(\tau)$ является периодической функцией, аргумента в $R_n(\tau)$ а (3) с ростом временного сдвига стремиться к нулю, следовательно, выбирая время

$$\tau_{пор1} < \tau < \tau_{пор2}, \quad (10)$$

при котором значением $r_n(\tau)$ в (9) можно пренебречь, обеспечивая тем самым получение функции $R_u(\tau)$, отображающей полезный сигнал.

Пороговые значения в (10) должны удовлетворять неравенства

$$\tau_{пор1} \geq \tau_k; \quad (11)$$

$$\tau_{пор2} \geq 10 \tau_k. \quad (12)$$

Время корреляции τ_k определяется по формуле

$$\tau_k = \int_0^{\infty} r_n(\tau) d\tau. \quad (13)$$

С учетом (6) из (13), получим

$$\begin{aligned} \tau_k &= \int_0^{\infty} \exp(-2 \omega \tau) d\tau = (2 \omega)^{-1} = \\ &= 0,08 T_0, \end{aligned} \quad (14)$$

а (10) можно представить в виде:

$$0,25 T_0 \leq \tau < 0,75 T_0, \quad (15)$$

где T_0 - период собственных колебаний пьезоэлектрического преобразователя. Согласно (15) существует время:

$$\tau_0 = 0,5 T_0, \quad (16)$$

когда корреляция отсчета $n(\tau)$ и $n(\tau + \tau_0)$ будет практически равна нулю.

Таким образом, осуществив привязку импульса ударного возбуждения по первому пересечению нуля (16) сигналом со второго выхода мультивибратора обеспечивается повышение помехоустойчивости.

Воспользовавшись методом функциональной корреляции сигнал $z(t)$ на втором входе мультивибратора представим в виде логического умножения знаковых функций от исследуемых сигналов

$$z(t) = \text{sign } u(\tau) \& \text{sign } u(t - \tau), \quad (17)$$

где $\text{sign}[*]$ - знаковая функция;

$u(t) = x(t) + n(t)$; $x(t)$ - полезный сигнал, определяемый по формуле (1);

$n(t)$ - помеха, с корреляционной функцией (3);

$\&$ - логическое умножение;

t - текущее время,

τ - время, определяемое неравенством (15).

Уравнение (17) описывает алгоритм функционирования и структуру функционально-корреляционного преобразователя, который обеспечивает статическую обработку и преобразование сигнала на втором входе мультивибратора с получением выигрыша в помехоустойчивости.

$$V_{\tau} = \frac{\tau_0}{\tau_k} = \frac{0,5 T_0}{0,08 T_0} \approx 6. \quad (18)$$

При этом период следования импульсов на выходе мультивибратора будет определяться как

$$T = (2l/c) + \tau_d, \quad (19)$$

где l - расстояние между пьезоэлектрическим преобразователем и отражателем;

c - скорость звука в исследуемой среде;

τ_d - дополнительная задержка сигнала

в функционально-корреляционном преобразователе.

Очевидно, что наличие дополнительной задержки в (19) будет приводить к погрешности измерений, которую можно компенсировать, если в микро-ЭВМ период из (19) преобразовать в код

$$N = f_0 T, \quad (20)$$

где f_0 - частота синхронизации микро-ЭВМ, а затем измерить скорость звука по алгоритму

$$C = \frac{A}{N - N_0}, \quad (21)$$

где A и N_0 - константы в памяти микро-ЭВМ, определяемые как

$$A = 2If_0; \quad (22)$$

$$N_0 = f_0 \tau_0, \quad (23)$$

l - расстояние между пьезоэлектрическим преобразователем и отражателем;

f_0 - частота синхронизации микро-ЭВМ;

τ_0 - известное значение дополнительной задержки сигнала в функционально-корреляционном преобразователе;

$N \approx f_0 T$ - код, пропорциональный периоду T на выходе мультивибратора.

Таким образом, применение функционально-корреляционного преобразователя позволяет обеспечить требуемые помехоустойчивость и точность измерений скорости звука, что свидетельствует о эффективности предлагаемых схемотехнических решений.

На фиг. 1 представлена функциональная схема предлагаемого устройства; на фиг. 2 - вариант выполнения функционально-корреляционного преобразователя, в сочетании со всеми элементами устройства в целом.

Устройство для измерения скорости звука (фиг. 1) содержит последовательно соединенные мультивибратор 1, пьезоэлектрический преобразователь 2, находящийся на фиксированном расстоянии от него отражатель 3 и последовательно подключенный ко второму выходу мультивибратора 1 функционально-корреляционный преобразователь 4, выход которого соединенный со вторым входом мультивибратора 1.

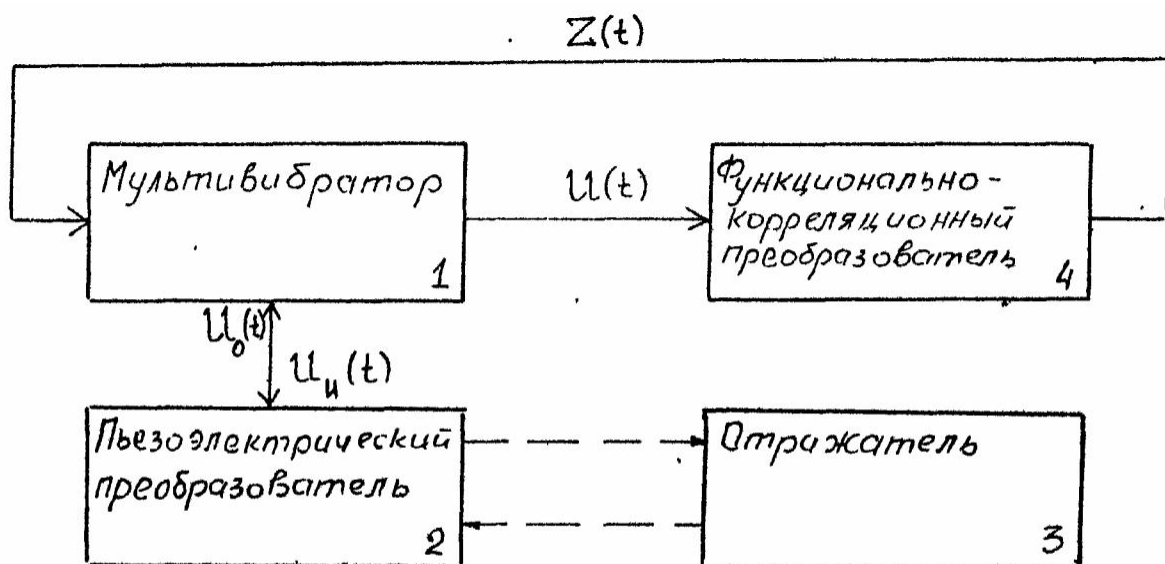
Функционально-корреляционный преобразователь 4 (фиг. 2) состоит из амплитудного дискриминатора 5, коммутатора 6, детектора 7, вход которого является входом функционально-корреляционного преобразователя 4 последовательно соединен с коммутатором 6 и детектором нуля 7, второй вход которого соединен со вторым выходом амплитудного дискриминатора 5, а выход детектора нуля 7, являющийся выходом функционально-корреляционного преобразователя 4, соединен со вторым входом мультивибратора 1, с входом микро-ЭВМ 9 и с входом одновибратора 8, выход которого соединен со вторым входом коммутатора 6. Устройство работает следующим образом. При включении питания на первом выходе мультивибратора 1 появляется импульсный сигнал $U_1(t)$, который поступает на пьезоэлектрический преобразователь 2. С помощью пьезоэлектрического преобразователя 2 электрический импульс $U_1(t)$ преобразуется в ультразвуковой сигнал, который распространяется в исследуемую среду и после отражения от отражателя 3 поступает на пьезоэлектрический преобразователь 2, где происходит обратное преобразование акустического сигнала в электрический импульс основного отражения $U_0(t)$. Электрический импульс основного отражения $U_0(t)$ на первый вход мультивибратора 1, где он усиливается и на его втором выходе получается сигнал $U(t)$. Этот сигнал преобразуется в амплитудном дискриминаторе 5 в биполярный импульс $U_2(t)$ и стробимпульс $U_1(t)$, длительностью, несколько больше полу периода собственных колебаний пьезоэлектрического преобразователя 2, формируемого в момент времени, когда функция корреляции помехи минимальна. При этом на выходе коммутатора 6 напряжение $U_3(t)$ становится высокого уровня, в результате чего детектор нуля 7 открывается. Когда биполярный сигнал $U_2(t)$ со второго выхода амплитудного дискриминатора 5 первый раз пересекает кулевой уровень, на выходе детектора нуля 7 формируется импульс $z(t)$ положительной полярности. Этим импульсом по второму входу запускается мультивибратор 1. В результате возбуждается пьезоэлектрический преобразователь 2 импульсом $U_1(t)$.

Одновременно с этим по заднему фронту импульса $z(t)$ с выхода детектора нуля 7 запускается одновибратор 8 и на его выходе формируется импульс $U_4(t)$ напряжением низкого уровня с длительностью, несколько меньше минимального периода следования импульсов на втором выходе мультивибратора 1. В результате коммутатор 6 закрывает детектор нуля 7. Таким образом, за счет блокирования детектора нуля 7 сигналом с выхода одновибратора 8 мультивибратор 1 становится невосприимчивым на воздействие помех в момент возбуждения пьезоэлектрического преобразователя 2 мощными импульсами $U_1(t)$ и тем самым исключается возможность возникновения автоколебаний с частотами кратными основной.

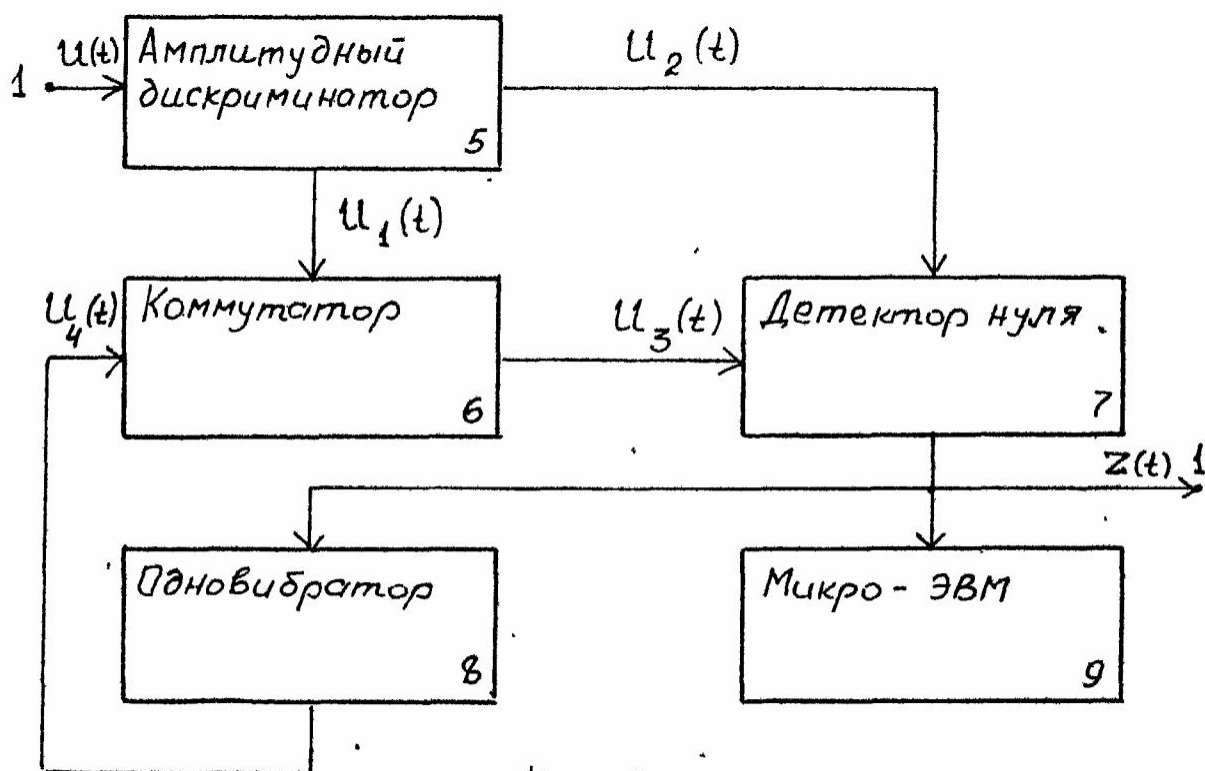
В момент прихода очередного отраженного импульса $U_0(t)$ на выходе одновибратора 8 напряжение $U_4(t)$ высокого уровня, а следовательно, детектор нуля 7 подготовлен к формированию импульса для запуска мультивибратора 1.

На выходе детектора нуля 7 в установившемся режиме формируется последовательность импульсов $z(t)$, частота следования которых зависит от времени прохождения ультразвуком удвоенного расстояния между пьезоэлектрическим преобразователем 2 и отражателем 3, а также от величины задержки срабатывания функционально-корреляционного преобразователя 4. Импульсы $z(t)$ с выхода детектора нуля 7 поступают на вход микро-ЭВМ 9, где осуществляется измерение скорости звука по алгоритму (21).

Таким образом, осуществляя формирование импульсов другого возбуждения в момент пересечения нуля сигналом со второго выхода мультивибратора 1 обеспечивается помехоустойчивость устройства, а применение микро-ЭВМ 9 в составе функционально-корреляционного преобразователя 4 обеспечивает требуемую точность измерений.



Фиг. 1



Фиг. 2