

Изобретение относится к технике акустического контроля и может быть использовано для измерения скорости звука, в частности импульсно-циклическим методом, в жидких средах.

Известно устройство для измерения скорости звука, содержащее последовательно подключенные импульсный генератор, акустические излучатель и приемник, усилитель сигналов и частотомер (Серавин Г.Н, Измерение скорости звука в океане. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. - С.18).

Однако известное устройство для измерения скорости звука не обладает требуемой точностью измерений из-за наличия дополнительного запаздывания сигнала в электроакустическом тракте.

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 (А.с. СССР №1386853, кл. G01H5/00, 1988).

В устройстве-прототипе при возбуждении пьезоэлектрического преобразователя, обладающего частотой  $\omega_0$  механического резонанса, в среду распространяется ультразвуковой импульс  $p(t)$  в виде одного периода синусоиды

$$p(t) = P_0 \sin \omega_0 t; 0 \leq t \leq 2\pi / \omega_0 \quad (1)$$

где  $P_0$  - амплитуда ультразвукового импульса;  
 $\omega_0$  - частота механического резонанса пьезоэлектрического преобразователя;  
 $t$  - время.

После отражения от отражателя ультразвуковой импульс  $p(t)$  преобразуется в импульс напряжения  $U(t)$ , определяемый по формуле

$$U(t) = U_0 \sin \omega_0 t; \quad 0 \leq t \leq 2 / \omega_0 \quad (2)$$

где  $U_0 = \alpha P_0$  - амплитуда импульса напряжения,  
 $\alpha$  - коэффициент передачи пьезоэлектрического преобразователя.

Импульс  $U(t)$  поступает на вход мультивибратора, который будет срабатывать при некотором пороговом напряжении  $U_{пор} > 0$  на базомиттерных переходах транзисторов  $VT_1$  и  $VT_2$  с задержкой  $\tau_0$ , а именно

$$\tau_0 = (2 / \omega_0) \arcsin (U_{пор} / U_0) \quad (3)$$

Следовательно, период  $T(t)$  следования импульсов на выходе мультивибратора зависит от расстояния между пьезоэлектрическим преобразователем и отражателем, величины скорости звука в среде и дополнительной задержки срабатывания мультивибратора:

$$T(t) = \frac{2l}{C(t)} + \tau_0 \quad (4)$$

где  $l$  - расстояние между пьезоэлектрическим преобразователем и отражателем;

$C(t)$  - скорость звука в исследуемой среде;

$\tau_0$  - дополнительная задержка срабатывания

мультивибратора.

Учитывая, что  $\tau_0 \ll T(t)$ , из выражения (4) можно получить рабочее уравнение для определения скорости звука:

$$C(t) = \frac{2l}{T(t) - \tau_0} \approx \frac{2l}{T(t)} \left[ 1 + \frac{\tau_0}{T(t)} \right] \quad (5)$$

где  $C(t)$  - скорость звука в исследуемой среде;

$l$  - расстояние между пьезоэлектрическим преобразователем и отражателем;

$T(t)$  - период следования импульсов на выходе мультивибратора;

$\tau_0$  - дополнительная задержка срабатывания мультивибратора.

Таким образом, наличие задержки  $\tau_0$  срабатывания мультивибратора приводит к появлению в уравнении измерения (5) дополнительной относительной погрешности  $\delta_0$ , определяемой как

$$\delta_0 = \left[ 1 + \frac{\tau_0}{T(t)} \right] \quad (6)$$

где  $\delta_0$  - относительная погрешность измерения скорости звука;

$\tau_0$  - дополнительная задержка срабатывания мультивибратора;

$T(t)$  - период следования, импульсов на выходе мультивибратора.

Это отрицательно сказывается на точности измерений и ограничивает применение устройства прототипа.

В основу настоящего изобретения поставлена задача усовершенствования функциональной схемы устройства для измерения скорости звука в жидких средах, в которой за счет преобразования частоты импульсов на выходе мультивибратора сформирован код, не зависящий от величины задержки срабатывания мультивибратора, что приводит к уменьшению относительной погрешности и за счет этого достигается повышение точности измерений заявляемого устройства.

Эта задача решается устройством для измерения скорости звука, содержащим последовательно, соединенные мультивибратор, пьезоэлектрический преобразователь и находящийся на фиксированном расстоянии от него отражатель, согласно изобретению, оно снабжено последовательно соединенными к выходу мультивибратора делителем частоты, селектором, ко второму входу которого подключен выход генератора импульсов, а к его выходу - последовательно соединенные счетчик, параллельный интерфейс и микро-ЭВМ, при этом первые информационные выходы параллельного интерфейса соединены с индикатором, а вторые - через регистр с информационными входами счетчика.

Совокупность всех существенных признаков предлагаемой конструкции устройства для измерения скорости звука, включая отличительные, а именно введение в устройство для измерения скорости звука последовательно соединенных к выходу мультивибратора делителя частоты, селектора, ко второму входу которого подключен выход генератора импульсов, а к его выходу - последовательно соединенные счетчик, параллельный интерфейс и микро-ЭВМ, при этом первые информационные выходы

параллельного интерфейса соединены с индикатором, а вторые - через регистр с информационными входами счетчика, позволяет получить изменение кода, которое не зависит от величины задержки срабатывания мультивибратора, что достигается реализацией аппаратными средствами модифицированного преобразования временного интервала в код, обеспечивая при этом требуемую точность измерений.

Суть модифицированного преобразования временного интервала в код заключается в следующем.

Выходным сигналом мультивибратора является импульсная последовательность с периодом следования

$$T_{\min} \leq T(t) \leq T_{\max}, \quad (7)$$

$$T_{\min} = 2l / C_{\max}, \quad (8)$$

$$T_{\max} = 2l / C_{\min}; \quad (9)$$

$$C_{\min} \leq C(t) \leq C_{\max}; \quad (10)$$

где  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$  - минимальное и максимальное значения периода следования импульсов на выходе мультивибратора;

$C_{\min}$ ,  $C_{\max}$  - минимальное и максимальное значения скорости звука в исследуемой среде;

$l$  - расстояние между пьезоэлектрическим преобразователем и отражателем.

Период  $T(t)$  преобразуется в число импульсов  $N(t)$  на входе счетчика путем подсчета количества импульсов высокочастотного сигнала с частотой  $F_0 \gg 1/T_{\min}$  за время осреднения  $\tau_k(t)$ , численно равное периоду ( $k=1$ ), либо нескольким периодам ( $k>1$ ) следования импульсов на выходе мультивибратора. Тогда время осреднения  $\tau_k(t)$  будет определяться как

$$\tau_k(t) = kT(t) = k \left[ \frac{2l}{C(t)} + \tau_0 \right], \quad (11)$$

где  $k$  - коэффициент осреднения;

$T(t)$  - период следования импульсов на выходе мультивибратора;

$l$  - расстояние между пьезоэлектрическим преобразователем и отражателем;

$C(t)$  - скорость звука в исследуемой среде;

$\tau_0$  - задержка срабатывания мультивибратора.

В счетчик предварительно записывается в дополнительном коде число  $[N_0]_2$ , соответствующее минимальному периоду  $T_{\min}$ , а именно

$$[N_0]_2 = 2^m - (N_{\min} + N_0), \quad (12)$$

где  $m \geq \log_2(N_{\max} - N_{\min})$  - разрядность счетчика,

$$N_{\min} = A / C_{\max}; \quad (13)$$

$$N_{\max} = A / C_{\min}; \quad (14)$$

$$A = 2klF_0; \quad (15)$$

$$N_0 = kF_0 \tau_0; \quad (16)$$

где  $k$  - коэффициент осреднения;

$l$  - расстояние между пьезоэлектрическим преобразователем и отражателем;

$F_0$  - частота синхронизации;

$C_{\min}$ ,  $C_{\max}$  - минимальная и максимальная скорость звука в исследуемой среде.

За время осреднения  $\tau_k(t)$  на вход счетчика поступает число импульсов

$$N(t) = N_{\min} + \Delta N(t) + N_0, \quad (17)$$

где  $N_{\min}$  - код, соответствующий минимальному измеряемому периоду;

$\Delta N(t)$  - изменение кода, не зависящее от величины кода задержки  $\tau_0$  срабатывания мультивибратора.

В итоге в счетчике за счет предварительной установки  $[N_0]_2$  в конце счета оказывается записанное модифицированное число импульсов  $\Delta N(t)$ , которое не зависит от числа импульсов  $N_0$ , поступающих за время дополнительной задержки  $\tau_0$  срабатывания мультивибратора.

Приращение  $\Delta N(t)$  числа импульсов удовлетворяет неравенству  $\Delta N(t) < N_{\min}$ , следовательно, уравнение измерения скорости звука  $C(t)$  можно представить в виде

$$C(t) = \frac{A}{N_{\min} + \Delta N(t)} = \frac{A}{N_{\min}} \times [1 + b(t)]^{-1}, \quad (18)$$

где  $b(t) = \Delta N(t) / N_{\min}$ ;

$A$ ,  $N_{\min}$  - константы из формулы (15);

$\Delta N(t)$  - изменение кода.

С учетом (13) и применяя разложение функции  $[1 + b(t)]^{-1}$  в степенной ряд, получим рабочее уравнение измерения скорости звука  $C(t)$  на основе модифицированного преобразования временного интервала в код

$$C(t) = C_{\max} \left\{ \sum_{i=0}^h (-1)^i [b(t)]^i \right\}, \quad (19)$$

где  $b(t) = \Delta N(t) / N_{\min}$ ;

$C_{\max}$ ,  $N_{\min}$  - константы из формулы (13);

$\Delta N(t)$  - изменение кода.

В уравнении измерений (19) на основе модифицированного преобразования временного интервала в код число членов ряда  $h$  выбирается с учетом обеспечения требуемой относительной погрешности измерений  $\delta_c$  скорости звука

$$h \geq 1 - \lg \delta_c, \quad (20)$$

где  $h$  - число членов ряда;

$\delta_c$  - относительная погрешность измерения скорости звука.

При этом коэффициент  $b(t)$  в (19) не зависит от величины задержки срабатывания мультивибратора и тем самым, реализовав уравнение (19) в микро-ЭВМ, на индикаторе отображается информация об измеряемой скорости звука, которая не зависит от числа импульсов, поступающих за время дополнительной задержки  $\tau_0$  срабатывания мультивибратора, а, следовательно, решается задача повышения точности измерений, что свидетельствует об эффективности принятого схемного решения.

На чертеже (фиг.) представлена

функциональная схема предлагаемого устройства.

Устройство для измерения скорости звука содержит мультивибратор 1, пьезоэлектрический преобразователь 2, отражатель 3, делитель частоты 4, селектор 5, генератор импульсов 6, счетчик 7, параллельный интерфейс 8, микро-ЭВМ 9, регистр 10 и индикатор 11.

Мультивибратор 1 своим выходом соединен с пьезоэлектрическим преобразователем 2 и с входом делителя частоты 4. На фиксированном расстоянии  $l$  от пьезоэлектрического преобразователя 2 установлен отражатель 3.

Делитель частоты 4 выходом соединен с первым входом селектора 5, второй вход которого соединен с выходом генератора импульсов 6.

Выход селектора 5 подключен к счетному входу счетчика 7, информационные входы которого подключены к информационным выходам регистра 10.

Информационные выходы счетчика 7 подключены к информационным входам параллельного интерфейса 8, вторые информационные выходы которого подключены к информационным входам регистра 10, а первые информационные выходы - к информационным входам индикатора 11.

Микро-ЭВМ 9 через системную магистраль  $M$  соединен с параллельным интерфейсом 8.

Устройство для измерения скорости звука работает следующим образом.

В начале запускается микро-ЭВМ 9, от которой по командам вывода, через системную магистраль  $M$ , вторые выходы параллельного интерфейса 8, информационные входы регистра 10 записывается в счетчик 7 дополнительный код  $[N_0]_2$  числа импульсов, соответствующего минимальному периоду  $T_{min}$ .

Затем подается питание на мультивибратор 1, на выходе которого формируется импульсный сигнал  $x(t)$  с периодом следования  $T(t)$ , определяемого по формуле (4).

Выходной сигнал  $x(t)$  мультивибратора 1 поступает на вход делителя частоты 4 с коэффициентом деления  $K$ . На выходе делителя частоты 4 формируется сигнал  $x_k(t)$ , открывающий селектор 5 на время  $\tau_k(t)$ , определяемого по формуле (11).

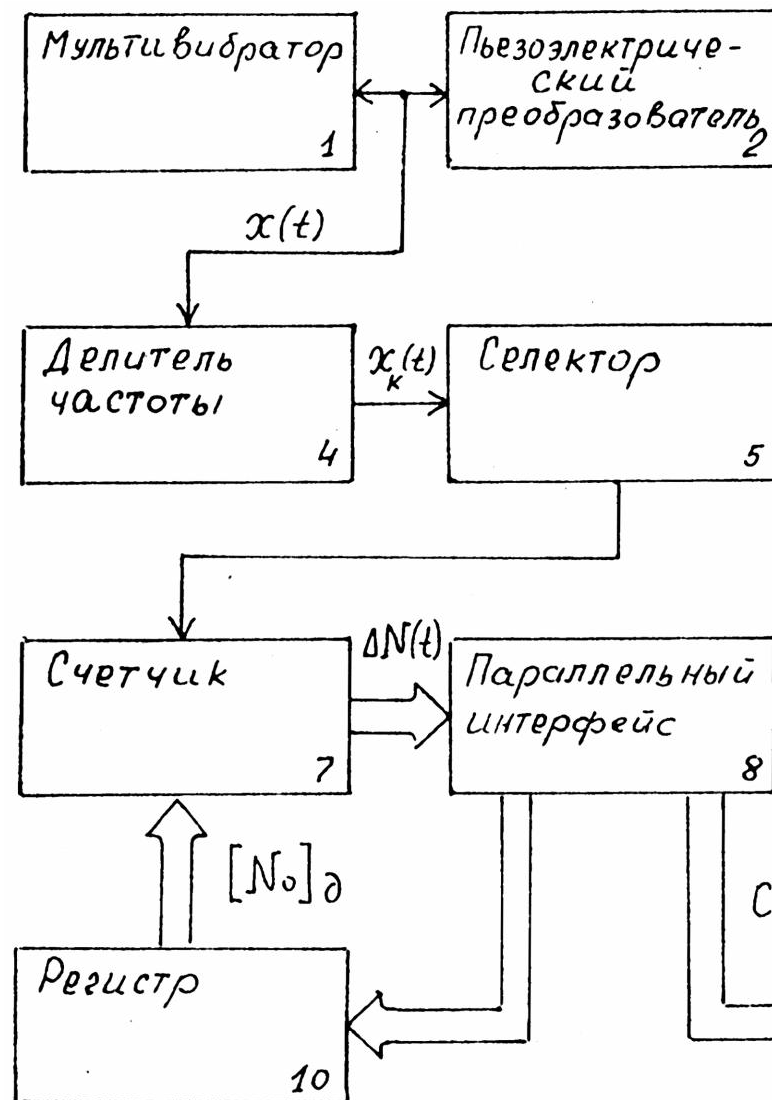
Импульсы  $z(t)$  частотой  $F_0 > 1/T(t)$  с выхода генератора импульсов 6 поступают на счетный вход счетчика 7. В результате на информационных выходах счетчика 7 в конце счета будет зарегистрировано приращение кода  $\Delta N(t)$ .

Микро-ЭВМ 9 по командам ввода-вывода считывает приращение кода  $\Delta N(t)$  с информационных выходов счетчика 7 через информационные входы параллельного интерфейса 8, системную магистраль  $M$  в память и проводит вычисление по формуле модифицированного преобразования временного интервала в код, определяя при этом скорость звука по формуле (19).

По окончании вычислений микро-ЭВМ 9 через системную магистраль  $M$ , первые информационные выходы параллельного

интерфейса 8 по командам вывода выдает код об измеряемой скорости звука  $C(t)$  на индикатор 11.

В результате в предлагаемом устройстве для измерения скорости звука код  $\Delta N(t)$  на информационных выходах счетчика 7, измеряемый на основе модифицированного преобразования временного интервала в код, не зависит от величины задержки срабатывания мультивибратора 1, что приводит к повышению точности измерений скорости звука.



Фиг.