



УКРАЇНА

(19) UA (11) 21462 (13) A
(51)6 G 01 H 5/00ДЕРЖАВНЕ
ПАТЕНТНЕ
ВІДОМСТВООПИС ДО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДбез проведення експертизи по суті
на підставі Постанови Верховної Ради України
№ 3769 XII від 23 XII 1993 рПублікується
в редакції заявника

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВІМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ

1

(21) 95114996

(22) 24.11.95

(24) 16.12.97

(46) 30.04.98, Бюл. № 2

(47) 16.12.97

(72) Володченко Григорій Семенович, Новгородцев Анатолій Іванович, Полонський Олександр Дмитрович

(73) Сумський державний університет

(57) Устройство для измерения скорости звука, содержащее последовательно соединенные мультивибратор, пьезоэлектрический преобразователь и находящийся на фиксированном расстоянии от него отражатель, отличающееся тем, что оно снабжено процессором параметрической идентификации, входами подключенного, соответственно, ко второму выходу мультивибратора и к его входу, при этом процессор параметриче-

2

ской идентификации выполнен из последовательно соединенных амплитудного селектора, вход которого является вторым входом процессора параметрической идентификации, компаратора и счетчика, информационные выходы которого соединены с информационными входами, последовательно соединенных, сумматора и микроЭВМ, причем вторые информационные входы сумматора соединены с информационными выходами линии задержки, к счетному входу которой подключен выход генератора счетных импульсов, а к ее первому входу, являющемуся первым входом процессора параметрической идентификации, подключен счетный вход микроЭВМ, а ко второму входу – второй вход компаратора, соединенный также с выходом сумматора и управляющим входом микроЭВМ.

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

Известно устройство для измерения скорости звука в жидких средах, содержащее последовательно соединенные генератор гармонических колебаний, излучающий и приемный электроакустические преобразователи и фазометр [Северин Г.Н. Измерение скорости звука в океане. Л., Гидрометеоиздат, 1979, с. 18].

Однако известное устройство для измерения скорости звука не позволяет исключить неоднозначность показаний вследствие того, что фазометр не различает фазовых сдвигов, отличающихся на целое число периодов, что приводит к погрешностям измерения скорости звука и отрицательно сказывается на точности устройства.

Наиболее близким к заявляемому устройству по технической сущности и достигаемому результату является устройство для измерения скорости звука, содержащее последовательно соединенные мультивибра-

(19) UA (11) 21462 (13) A

тор, пьезоэлектрический преобразователь и отражатель [Авт. св. СССР № 1386853, кл. G 01 H 5/00, 1988].

В устройстве-прототипе мультивибратор выполнен на биполярных транзисторах. Усиление сигнала, отраженного от отражателя, находящегося на фиксированном расстоянии от пьезоэлектрического преобразователя, производится транзистором, который переключается при некотором пороговом напряжении $U_{пор} > 0$ на базо-эмиттерном переходе и работает в активном режиме при подаче на его базу малого отраженного сигнала, а при подаче на его базу большого сигнала — в ключевом режиме. Следовательно, в мультивибраторе возникает неконтролируемая задержка сигнала, а именно

$$\tau(t) = \theta u(t) / U_{пор}, \quad (1)$$

где $\tau(t)$ — задержка сигнала в мультивибраторе;

θ — постоянная времени мультивибратора;

$u(t)$ — мгновенное напряжение на входе мультивибратора;

$U_{пор}$ — пороговое напряжение переключения транзистора мультивибратора;

t — текущее время.

В результате период следования импульсов на выходе мультивибратора зависит от величины задержки сигнала и определяется как

$$T(t) = [2l/C(t)] + \tau(t), \quad (2)$$

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

l — расстояние между пьезоэлектрическим преобразователем и отражателем;

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

$\tau(t)$ — задержка сигнала в мультивибраторе

Учитывая, что $\tau(t) \ll T(t)$ из (2) можно получить уравнение для измерения скорости звука

$$C(t) = [2l/T(t)] + 2l \tau(t)/[T(t)]^2, \quad (3)$$

Второе слагаемое в (3), обозначив

$$\Delta C_t = 2l \tau(t)/[T(t)]^2, \quad (4)$$

является мультипликативной параметрической погрешностью измерений, наличие которой приводит к появлению дополнительной погрешности измерений, что отрицательно

сказывается на точности измерений скорости звука и ограничивает применение устройства-прототипа

В основу настоящего изобретения поставлена задача усовершенствования функциональной электрической схемы устройства для измерения скорости звука путем исключения влияния величины задержки сигнала мультивибратора на результат измерений, в частности на скорость звука, что обеспечивает повышение точности измерений.

Эта задача решается устройством для измерения скорости звука, содержащим последовательно соединенные мультивибратор, пьезоэлектрический преобразователь и находящийся на фиксированном расстоянии от него отражатель, в котором согласно изобретению, оно снабжено процессором параметрической идентификации, входами подключенного, соответственно, ко второму выходу мультивибратора и к его входу, при этом процессор параметрической идентификации выполнен из последовательно соединенных амплитудного селектора, вход которого является вторым входом процессора параметрической идентификации, компаратора и счетчика, информационные выходы которого соединены с информационными входами, последовательно соединенных, сумматора и микроЭВМ, причем вторые информационные входы сумматора соединены с информационными выходами линии задержки, к счетному входу которой подключен выход генератора счетных импульсов, а к ее первому входу, являющемуся первым входом процессора параметрической идентификации, подключен счетный вход микроЭВМ, а ко второму входу — второй вход компаратора, соединенный также с выходом сумматора и управляющим входом микроЭВМ.

Совокупность всех существенных признаков предлагаемой конструкции, включая отличительные, в схемах предлагаемого устройства и процессора параметрической идентификации позволяют получить код, который не зависит от величины задержки сигнала в мультивибраторе, и на его основе измеряется скорость звука методом оценки параметрического состояния задержки сигнала в мультивибраторе, суть которого заключается в следующем.

Минимальный временный масштаб измерения скорости звука в жидких средах составляет величину $T_c \geq 0,1$ сек, а максимальный период следования импульсов на выходе мультивибратора $T(t)_{\max} \ll T_c$. Тогда число итераций, за которое может быть идентифицировано значение задержки сигнала в мультивибраторе составит величину

$n = T_c / T(t)_{\max} \gg 1$, а следовательно, на интервале времени

$$iT_0 < t < (i+1)T_0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

где T_0 – дискретность измерения задержки сигнала в мультивибраторе, всякое изменение периода $\Delta T(t)$ следования импульсов на выходе мультивибратора можно рассматривать, как неконтролируемое изменение задержки $\Delta \tau(t)$ сигнала в мультивибраторе. Учитывая, что для каждого i -го измерения: $i = \overline{1, n}$, $\Delta \tau(t) \ll T(t)$, где $T(t)$ – мгновенное значение периода следования импульсов на выходе мультивибратора, можно считать параметр $\tau(t)$ квазипостоянным на интервале квазистационарности (6). Тогда процесс измерения параметра $\tau(t)$ можно описать передаточной функцией звена чистого запаздывания

$$W(p) = Y(p)/X(p) = \exp(-p \tau), \quad (7)$$

где $W(p)$ – передаточная функция измерения задержки сигнала в мультивибраторе;

$Y(p)$ – изображение сигнала на выходе мультивибратора;

$X(p)$ – изображение сигнала на входе мультивибратора;

τ – квазипостоянная задержка сигнала в мультивибраторе, как параметр, что характеризует величину $\tau(t)$ на интервале квазистационарности (6);

P – оператор Лапласа.

Снимая наложенные ограничения квазистационарности (6) параметр τ становится функцией времени $\tau(t)$, а передаточная функция (7) будет параметрической:

$$W(p, t) = Y(p, t)/X(p) = \exp[-p \tau(t)], \quad (8)$$

где $Y(p, t)$ – изображение сигнала на выходе мультивибратора, зависящего не только от периода следования импульсов на его выходе, но и от величины задержки сигнала в нем;

$X(p)$ – изображение сигнала на входе мультивибратора, не зависящее от параметра $\tau(t)$, т.е. это отраженный сигнал, который принимается за управляющее воздействие.

Следовательно, решение идентификационной задачи заключается в нахождении оценки $\hat{\tau}(t)$ параметра $\tau(t)$ на интервале квазистационарности (6). Рассматривая решение такой задачи, как многошаговый итерационный процесс в процессоре параметрической идентификации с дискретностью T_0 оценки $\hat{\tau}(t)$ параметра $\tau(t)$ последнее будем искать в классе стационарных дискретных систем. Оно заключается в том, что параметр $\tau(t)$ оценива-

ется в дискретные моменты времени $T_0, 2T_0, \dots, (i-1)T_0, iT_0, (i+1)T_0, \dots, (n-1)T_0, nT_0$ таким образом, чтобы минимизировать функционал качества

$$I[\varepsilon(p, t)] = 1/T_c \int_0^{T_c} \varepsilon^2[p, \Delta \tau_m(t)] dt \rightarrow \min, \quad (9)$$

сводящий к \min ошибку рассогласования $\varepsilon[p, \Delta \tau_m(t)]$ между выходным сигналом мультивибратора и его модели, зависящую от степени близости параметра модели $\tau_m(t)$ и параметра $\tau(t)$, а именно

$$\varepsilon[p, \Delta \tau_m(t)] = Y(p, t) - Y_m(p, t), \quad (10)$$

где $\Delta \tau_m(t)$ – изменение параметра модели мультивибратора;

$Y(p, t)$ – реакция мультивибратора на управляющее воздействие $X(p)$.

$$Y_m(p, t) = W_m(p, t)X(p) \quad (11)$$

– реакция модели мультивибратора на управляющее воздействие $X(p)$.

С учетом (8) параметрическая передаточная функция модели мультивибратора $W_m(p, t)$ будет определяться как

$$W_m(p, t) = Y_m(p, t)/X(p) = \exp[-p \tau_m(t)], \quad (12)$$

где $\tau_m(t)$ – параметр модели мультивибратора.

С учетом (10) – (12) выражение (9) приобретает вид

$$I[p, \Delta \tau_m(t)] = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} \{Y(p, t) - X(p) \exp[-p \tau_m(t)]\}^2 dt \rightarrow \min. \quad (13)$$

Минимизация функционала (13) осуществляется в процессоре параметрической идентификации, поэтому для нахождения его структуры и алгоритма функционирования необходимо взять частную производную от минимизируемого функционала по настраиваемому параметру на интервале квазистационарности (6). Тогда получим

$$\left[\frac{\partial I[p, \Delta \tau_m(t)]}{\partial \tau_m(t)} \right]_{i+1} = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} [Y(p, t) - X(p) \exp[-p \tau_m(t)]] \times \\ \times [p X(p) \exp[-p \tau_m(t)]] dt. \quad (14)$$

Осуществим переход от дискретно-непрерывной формы представления уравнения 14 к его разностной аппроксимации при условии квазипостоянства параметра $\Delta \tau_m(t) = T_0$ на интервале квазистационарности (6), используя следующие преобразования

$$\left. \begin{aligned} Z &= \exp(pT_0); p = 1/T_0 \ln Z; \\ \ln Z &= 2 \frac{Z-1}{Z+1}; f(1/T_0 \ln Z) = f(Z); \\ Z^l f(Z) &= [f(t)]_l; \\ [f(t)]_{l+1} &= [f(t)]_l = [\delta(t)]_l; \\ [\delta(t)]_l &= \begin{cases} T_0; [t \neq lT_0]; \\ 0; [t = lT_0]; \end{cases} \\ \text{sign}[\varepsilon(t)]_l &= \begin{cases} 1; [f(t) < f(t-lT_0)]; \\ 0; [f(t) = f(t-lT_0)]; \\ -1; [f(t) > f(t-lT_0)]; \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Заменяя интегрирование в (14) формулой прямоугольной аппроксимации, с учетом (15) для $(l-1)$ -ой итерации, получим

$$\left[\frac{\partial [p, \Delta \tau_m(t)]}{\partial \tau_m(t)} \right]_{l-1} = \sum_{m=0}^{l-1} [\delta(t)]_m \text{sign}[\varepsilon(t)]_m. \quad (16)$$

Для l -ой итерации с учетом (16) можно записать

$$\left[\frac{\partial [p, \Delta \tau_m(t)]}{\partial \tau_m(t)} \right]_l = \sum_{m=0}^l [\delta(t)]_m \text{sign}[\varepsilon(t)]_m. \quad (17)$$

Путем вычитания выражений (16) и (17) получаем

$$[\Delta \tau_m(t)]_l = T_0 \text{sign}[\varepsilon(t)]_l. \quad (18)$$

Учитывая, что приращение $\Delta \tau_m(t)$, полученное на $(l-1)$ шаге, суммируется с начальным значением $\tau_m(0)$ и при l -ой итерации получаем оценку $\hat{\tau}_m(t)$ параметра $\tau_m(t)$, тогда для любой m -ой итерации $m = \overline{1, n}$; $l = \overline{0, (n-1)}$, можно записать следующую систему рекуррентных выражений

$$\text{sign}[\varepsilon(t)]_m = \begin{cases} +1; [y(t) < x(t-\tau_m(t))]_m; \\ 0; [y(t) = x(t-\tau_m(t))]_m; \\ -1; [y(t) > x(t-\tau_m(t))]_m; \end{cases}$$

$$[\Delta \tau_m(t)]_{m+1} = T_0 \text{sign}[\varepsilon(t)]_m;$$

$$[\hat{\tau}_m(t)]_{m+1} = \tau_m(0) + \sum_{m=0}^{n-1} [\Delta \tau_m(t)]_{m+1} \quad (19)$$

Полученная система разностных уравнений (19) описывает алгоритм функционирования и структуру контура самонастройки процессора параметрической идентификации по параметру $\tau_m(t)$. При m итерациях будет достигнут \min функционала качества, которому соответствует код,

$$N_{\hat{\tau}}(T) = F_0 \hat{\tau}_m(t), \quad (20)$$

где $F_0 = 1/T_0$; T_0 – дискретность оценки $\hat{\tau}_m(t)$ параметра $\tau_m(t)$.

Принимая коэффициент деления частоты ($K > 1$) повторения импульсов $F(t) = C(t)/2l$, где $C(t)$ – скорость звука в исследуемой среде; l – расстояние между пьезоэлектрическим преобразователем и отражателем, в микроЭВМ, с частотой синхронизации f_0 , осуществляется преобразование периода $T(t) = 1/F(t)$ в код

$$N(t) = KT(t)f_0, \quad (21)$$

а затем идентифицируется измерение скорости звука $C(t)$ путем нахождения оценки $\hat{C}(t)$ по алгоритму

$$\hat{C}(t) = 2Kl f_0 [N(t) - N_{\hat{\tau}}(t)]^{-1}, \quad (22)$$

Получаемая при этом погрешность измерений определяется по формуле

$$\Delta C_{\hat{\tau}} = 2lT_0 [T(t)]^2. \quad (23)$$

Сравнивая (4) и (23) выигрыш по точности измерений составит величину

$$B \Delta C = \Delta C_{\tau} / \Delta C_{\hat{\tau}} = \tau(t)/T_0. \quad (24)$$

Учитывая, что $\tau(t) \geq 1$ мкс, тогда при частоте $F_0 = 1/T_0 = 2$ МГц величина выигрыша по точности измерений $B \Delta C > 2$, что свидетельствует о эффективности предлагаемого схематического решения.

На фиг.1 представлена функциональная схема предлагаемого устройства; на фиг.2 – вариант выполнения процессора параметрической идентификации.

Устройство для измерения скорости звука (фиг.1) содержит последовательно соединенные мультивибратор 1, пьезоэлектрический преобразователь 2, находящийся на

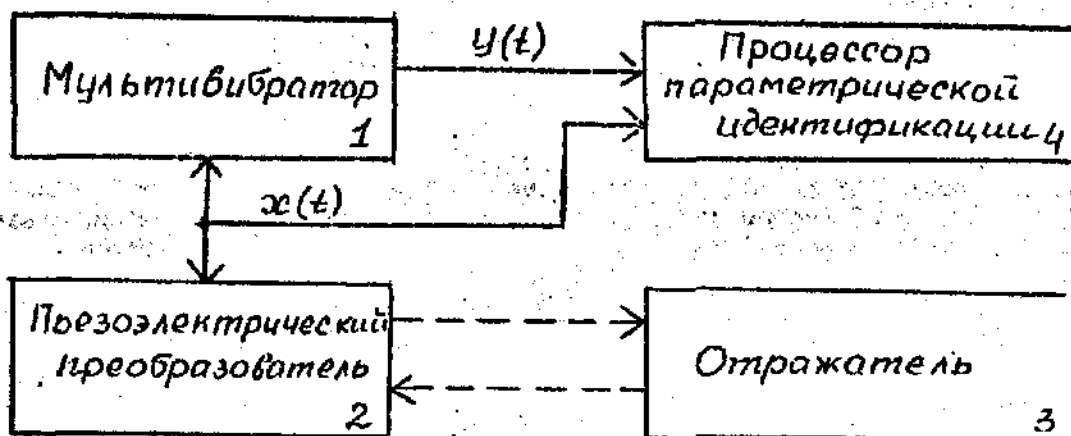
фиксированном расстоянии от него отражатель 3 и процессор параметрической идентификации 4 входами подключенный, соответственно, ко второму выходу мультивибратора 1 и к его входу.

Процессор параметрической идентификации 4 состоит из амплитудного селектора 5, компаратора 6, счетчика 7, сумматора 8, микроЭВМ 9, линии задержки 10 и генератора счетных импульсов 11. Вход амплитудного селектора 5, являющийся вторым входом процессора параметрической идентификации 4, подключен к входу мультивибратора 1. Амплитудный селектор 5 последовательно соединен с компаратором 6 и счетчиком 7, информационные входы которого соединены с информационными входами, последовательно соединенных, сумматора 8 и микроЭВМ 9, причем вторые информационные входы сумматора 8 соединены с информационными выходами линии задержки 10, к счетному входу которой подключен выход генератора счетных импульсов 11. Первый вход линии задержки 10 является первым входом процессора параметрической идентификации 4, и к нему подключен счетный вход микроЭВМ 9, а ко второму входу линии задержки 10 – второй вход компаратора 6, соединенный также с выходом сумматора 8 и управляющим входом микроЭВМ 9.

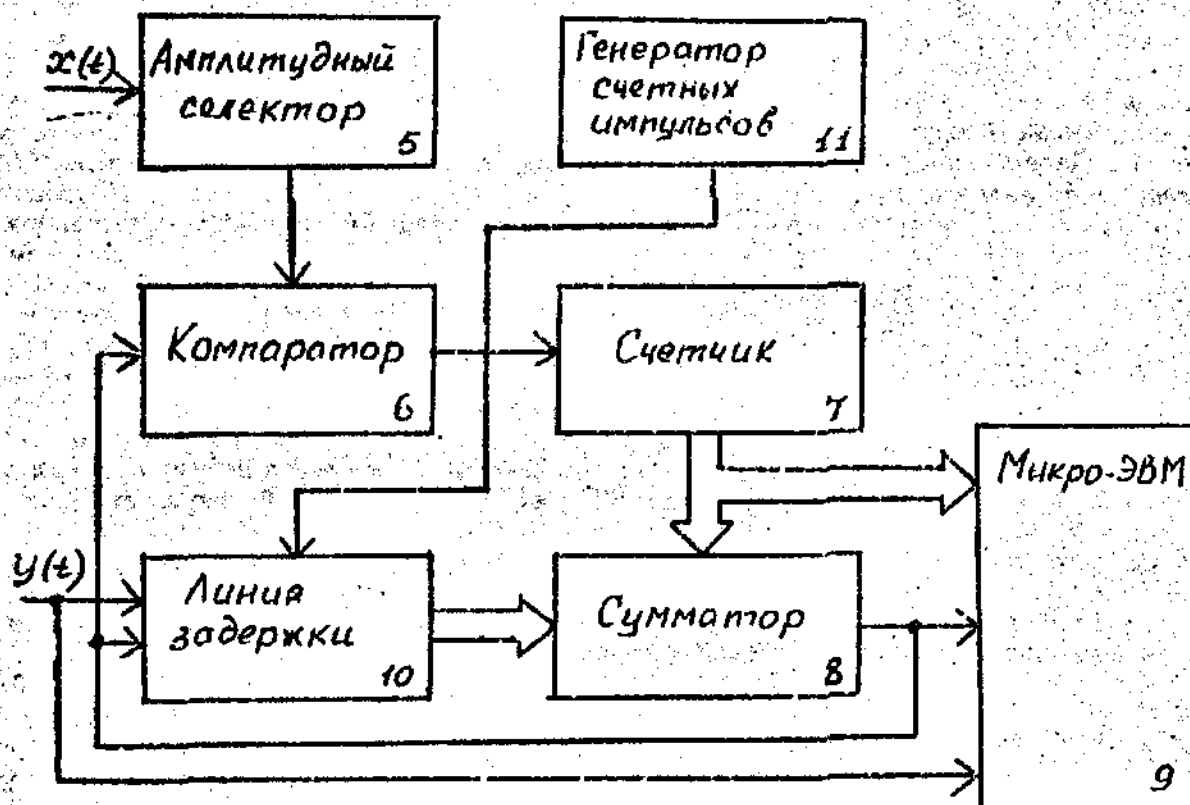
Устройство для измерения скорости звука работает следующим образом.

После включения питания срабатывает мультивибратор 1, в результате чего пьезоэлектрический преобразователь 2 возбуждается и в среду распространяется акустический импульс. Импульсом возбуждения блокируется амплитудный селектор 5 и процессор параметрической идентификации 4 не реагирует на этот импульс. Акустический импульс, отражаясь от отражателя 3, поступает на пьезоэлектрический преобразователь 2 и преобразуется в электрический сигнал $x(t)$. Импульсы $x(t)$ поступают на вход

амплитудного селектора 5 и мультивибратора 1. После усиления в мультивибраторе 1 получаются импульсы $y(t)$, поступающие на первый вход линии задержки 10. В результате линия задержки 10 открывается и разрешает подсчет импульсов с выхода генератора счетных импульсов 11. На информационных выходах линии задержки 10 формируется код. Одновременно с этим импульсы $y(t)$ со второго выхода мультивибратора 1, прошедшие амплитудный селектор 5 сравниваются в компараторе 6 с импульсами на выходе сумматора 8. В зависимости от временного положения этих импульсов будет сформирован сигнал, изменяющий состояние счетчика 7. Этот процесс продолжается до тех пор, пока коды на информационных выходах счетчика 7 и линии задержки 10 сравниваются. В момент сравнения кодов на выходе сумматора 8 появится импульс, закрывающий линию задержки 10 и компаратор 6, а также разрешающий микроЭВМ 9 принять код с информационных входов счетчика 7. В результате в микроЭВМ 9 будет перезаписан код, соответствующий величине задержки сигнала в мультивибраторе 1. Учитывая, что период следования импульсов с выхода генератора счетных импульсов 11 намного меньше времени изменения скорости звука в исследуемой среде, следовательно, процесс идентификации задержки сигнала в мультивибраторе 1 происходит в реальном масштабе времени. Получив код с информационных выходов счетчика 7 микроЭВМ 9 разрешает прохождение сигнала на свой счетный вход со второго выхода мультивибратора 1. По окончании цикла измерения микроЭВМ 9 вычисляет скорость звука и выдает информацию на дисплей. Затем процесс повторяется и в результате за счет реализации алгоритма (20) – (22) аппаратными средствами достигается увеличение точности измерений скорости звука путем исключения влияния величины задержки сигнала в мультивибраторе 1 на результат измерений.



Фиг. 1



Фиг. 2

Упорядник

Техред М. Келемеш

Корректор

Л. Лукач

Замовлення 4438

Тираж

Підписне

Державне патентне відомство України,
254655, ГСП, Київ-53, Львівська пл., 8

Відкрите акціонерне товариство "Патент", м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101