

## ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ И ЗАТУХАНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В СИЛЬНОПОГЛОЩАЮЩИХ ЖИДКОСТЯХ

О. Я. ШМЕЛЁВ

[Измерительная техника, №1, 1995, с.66-67](#)

УДК 532.783:534.08

В настоящей статье рассматривается способ относительного измерения акустических параметров сильнопоглощающих жидкостей с использованием непрерывного синусоидального зондирующего сигнала. По сравнению с импульсно-фазовым методом переменной частоты данный способ обладает преимуществом непосредственного отсчета результатов в динамическом режиме измерения. Измерение малых вариаций акустических параметров, например, их анизотропии в жидких кристаллах, традиционным импульсно-фазовым методом переменной частоты (в том числе и предложенной автором модификацией [1]), несмотря на его высокую стабильность и чувствительность, сопряжено с рядом неудобств. Основными из них являются некоторое изменение рабочей частоты и невозможность непосредственного отсчета результатов из-за необходимости постоянного поддержания фазово-амплитудного баланса зондирующего и опорного сигналов. Последнее обстоятельство накладывает существенные ограничения на применение данного метода при работе с объектами, быстро изменяющими свои свойства, такими, как, например жидкие кристаллы или магнитные жидкости в пульсирующих и пространственно переменных магнитных полях.

В тоже время в сильнопоглощающих жидкостях, каковыми являются жидкие кристаллы, при надлежащем выборе длины акустического пути можно добиться пренебрежимо малого влияния повторных отражений от пьезопреобразователей на результирующий сигнал. Тем самым обеспечивается применимость непрерывного синусоидального сигнала фиксированной частоты вместо зондирующих радиоимпульсов. Проиллюстрируем это на примере типичной акустической камеры, применявшейся в указанной выше работе. При рабочей частоте 9 МГц расстояние между пьезопреобразователями составляло 8 мм. Положим амплитуду первого отраженного радиоимпульса равной 0,01 основного сигнала. Легко показать, что для этого коэффициент поглощения ультразвука в исследуемой среде должен быть не менее  $3,6 \cdot 10^{-12} \text{ с}^2/\text{м}$ . Это условие выполняется, например, для типичного жидкого кристалла БББА (бутоксид-бензилиден-бутил-анилина) во всей его нематической фазе. Если учесть при этом, что затухание отраженных сигналов обусловлено не только поглощением в среде, но и рассеянием за счет, например, некоторой не параллельности передающего и приемного пьезопреобразователей, то приведенная оценка может быть еще менее строгой. Таким образом, для данного примера в первом приближении можно считать, что обусловленная повторными отражениями погрешность измерения вариации коэффициента поглощения не превышает 1%. Погрешность измерения вариации фазы принятого сигнала (то есть скорости ультразвука) может быть

оценена аналогично и составляет приблизительно ту же величину.

Рассмотренная ситуация была проверена практически с использованием описанной в [2] установки. Отношение амплитуд и сдвиг фаз исходного и принятого сигнала в акустической камере в непрерывном режиме измерялись серийным комбинированным прибором типа ФК2-12, имеющим разрешающую способность по фазе -  $0,2^\circ$ , а чувствительность по амплитуде - 10 мкВ. Для усиления принятого сигнала использовался широкополосный малозумящий усилитель из состава той же установки.

Сравнительные измерения анизотропии скорости и коэффициента поглощения ультразвука двумя методами показывает их согласие, лучшее, чем погрешность импульсного метода, составлявшая величину не более 5% для обоих параметров.

В описываемой методике анизотропия поглощения вычисляется по формуле [2]:

$$\Delta\alpha / f^2 = \Delta D / (8.69df^2) . \quad (1)$$

Здесь  $f$  - частота синусоидального зондирующего сигнала;  $D$  - изменение амплитуды принятого сигнала, дБ;  $d$  - расстояние между приемным и передающим пьезопреобразователями.

Анизотропия скорости определяется следующим образом:

$$\Delta c / c = \Delta\varphi(360f\tau - \Delta\varphi) , \quad (2)$$

где  $c$  - скорость ультразвука,  $\tau$  - время прохождения ультразвука через образец,  $\varphi$  - вариация фазы (в градусах), обусловленная анизотропией скорости.

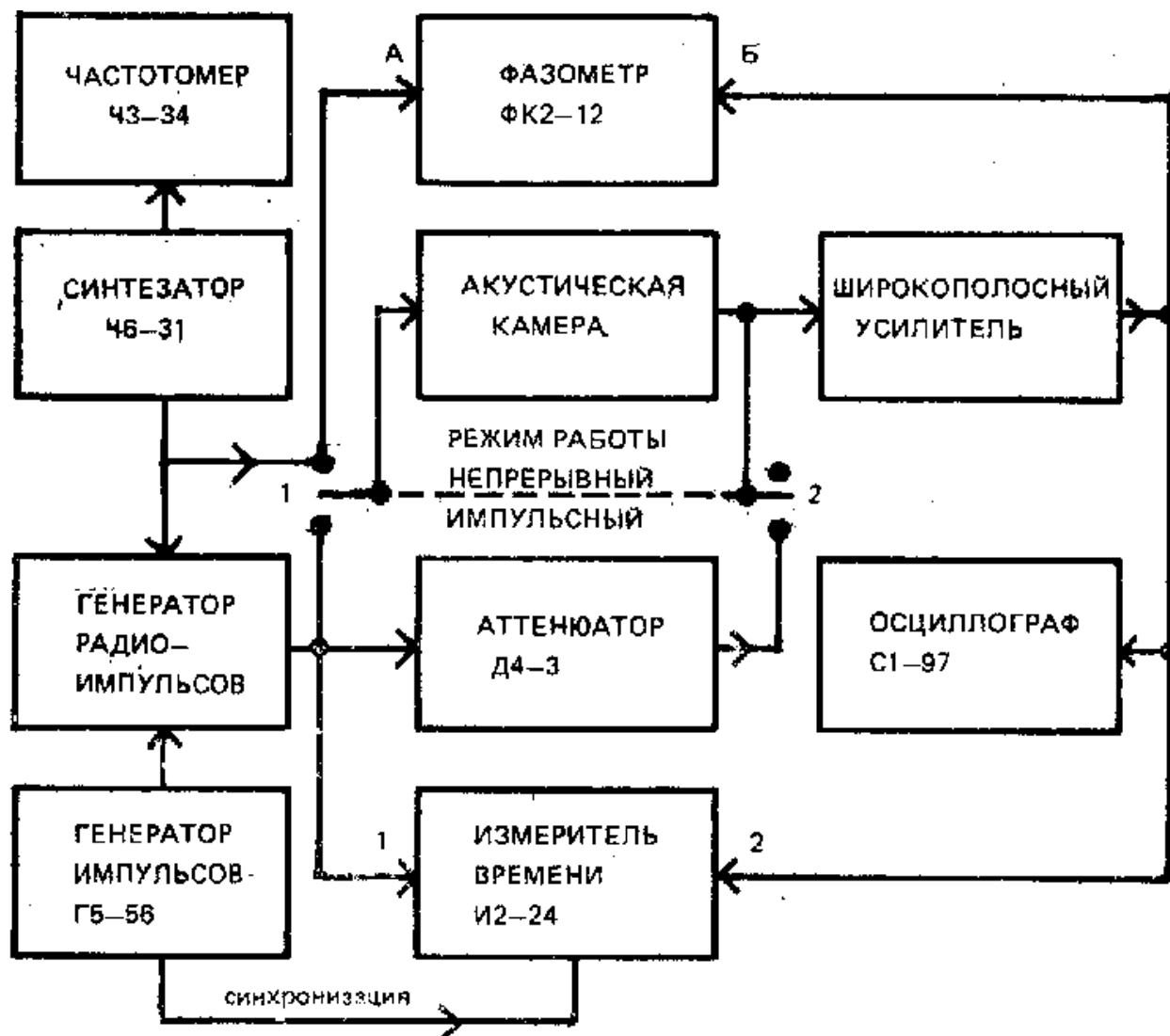
При этом разрешение по фазе  $0,2^\circ$  соответствует разрешению по величине  $dc/c$  порядка  $1 \cdot 10^{-5}$ , что примерно соответствует тому же в сравниваемой установке.

Рассмотрим соотношение величин в формуле (2) при типичной ситуации [1]: измерении анизотропии скорости ультразвука в окрестности фазового перехода (например, нематик-смектик А) в жидком кристалле БВВА. Анизотропия скорости в нематической фазе на расстоянии 0,2 К от перехода достигает величины  $2 \cdot 10^{-3}$ . Это соответствует вариации фазы принятого сигнала  $40^\circ$ , то есть погрешность обусловленная измерителем фазы составляет 0,5%. Время распространения ультразвука через образец измеряется импульсным методом прибором И2-24, обладающим разрешающей способностью 2 нс. Погрешность измерения времени определяется в основном конечной крутизной фронтов радиоимпульса. Эту погрешность можно оценить величиной порядка 1/4 периода заполнения радиоимпульса, что составляет в нашем случае 27 нс. В используемой акустической камере время прохождения импульса через образец составляет величину порядка 5,5 мкс, т.е.

относительная погрешность измерения составляет около 0,5%. Изменение этого времени с температурой на участке 2 К – не более 0,25 %. Таким образом погрешность определения анизотропии скорости ультразвука не превышает 1%. Обсуждение других источников погрешности приведено в [1,2], вклад их значительно меньше. Кроме того, приведенные выше данные показывают, что совсем необязательно измерять время  $\tau$  при каждом изменении температуры образца. Достаточно это делать при изменении скорости звука превышающем величину, скажем, половины случайной погрешности фазометра. В нашем примере это придется делать через каждые 2 К.

Необходимо сделать еще одно замечание. Очевидно, что в непрерывном режиме следует ограничивать амплитуду зондирующего сигнала, чтобы не допустить заметного нагрева образца. В применявшейся акустической камере такой нагрев отмечался уже при напряжении на передающем пьезопреобразователе, превышающем 1 В. Объем образца в камере составлял 10 мл. Пьезопреобразователи – кварцевые пластины диаметром 20 мм. Нагрев определялся по изменению (понижению) скорости звука после подачи сигнала на оттермостатированный образец.

Ядро структурной схемы установки, позволяющей проводить измерения анизотропии скорости и коэффициента поглощения ультразвука как импульсным, так и непрерывным способами, представлено на рисунке:



Рассмотрим кратко работу установки в различных режимах.

При нижнем по рисунку положении переключателя "НЕПРЕРЫВНЫЙ/ИМПУЛЬСНЫЙ" сигнал с выхода генератора радиоимпульсов [3] подается одновременно на вход аттенюатора предельного типа Д4-3 и на передающий пьезопреобразователь в акустической камере. Прошедший через образец сигнал суммируется с опорным сигналом с выхода аттенюатора. Изменением частоты исходного сигнала и ослабления аттенюатора достигается амплитудно-фазовый баланс радиоимпульса, прошедшего через образец, и опорного. По значениям частоты и ослабления при различных состояниях образца определяются изменение скорости и коэффициента поглощения ультразвука [1,2].

При верхнем положении переключателя "НЕПРЕРЫВНЫЙ/ИМПУЛЬСНЫЙ" синусоидальный сигнал с выхода синтезатора частоты подается одновременно на передающий пьезопреобразователь в акустической камере и вход "А" фазометра. Прошедший через образец сигнал усиливается и подается на вход "Б" фазометра. Прибором ФК2-12 измеряются вариации разности фаз и отношения амплитуд принятого и опорного сигналов при различных

состояниях образца. Соответствующие значения акустических параметров рассчитываются по формулам (1) и (2).

Для измерения времени прохождения радиоимпульса через образец левая часть переключателя "НЕПРЕРЫВНЫЙ/ИМПУЛЬСНЫЙ" переводится в нижнее положение, а правая - в верхнее. Искомое время измеряется непосредственно прибором И2-24, снабженным дополнительным усилителем (на схеме не показан).

Генератор прямоугольных видеоимпульсов Г5-56 служит для управления генератором радиоимпульсов и синхронизации работы измерителя времени и осциллографа.

Кроме показанных на рисунке элементов в целом установка включает в себя систему термостатирования образца, устройство переориентации его в магнитном поле, систему автоматизации измерений и обработки результатов на основе микрокомпьютера [4]. Эта установка является развитием описанной в [2], и удостоенной серебряной медали ВДНХ СССР в 1989 г. Рабочий диапазон частот установки от 1 до 60 МГц. Разрешающая способность при измерении анизотропии скорости ультразвука  $5 \cdot 10^{-6}$ , при измерении анизотропии коэффициента поглощения  $1 \cdot 10^{-14}$  с<sup>2</sup>/м. Стабильность поддержания температуры образца лучше 0,001 К.

Сочетание в новой установке двух методов позволило исключить недостатки присущие каждому из используемых методов и объединить их достоинства. С помощью импульсно-фазового метода переменной частоты [1,2] производятся измерения в статическом режиме с повышенной разрешающей способностью и долговременной стабильностью. Метод непрерывного сигнала используется преимущественно в динамическом режиме для измерения быстроизменяющихся акустических параметров образца. Данная установка вместе с аналогичной по назначению, но перекрывающей частоты 0,15...1,2 МГц [5], используется для акустических исследований фазовых переходов в жидких кристаллах.

Установка разработана и изготовлена в Московском институте приборостроения (МИП), Проблемная лаборатория молекулярной акустики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шмелёв О.Я. Анизотропное распространение ультразвука в жидких кристаллах, имеющих фазовый переход нематик-смектик А. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Москва, ВЗМИ, 1983.
2. Шмелёв О.Я. Измерительная техника, 1988, N 11, с.57-59.
3. Шмелёв О.Я. Приборы и техника эксперимента, 1986, N 2, с.124-126.

4. Шмелёв О.Я. В сборнике "Применение ультразвуки к исследованию вещества" Москва, ВЗМИ, 1987, выпуск 38, с.36-40.
5. Шмелёв О.Я. Измерительная техника, 1994, N 2, с.51-53.