

Г. Я. КАРАПЕТЬЯН, д. т. н. А. С. БАГДАСАРЯН,
В. Ф. КАТАЕВ, О. В. КАТАЕВА

Россия, г. Волгодонск, ЗАО «Институт термоэлектричества»
E-mail: kvf@volgodonsk.ru

Дата поступления в редакцию
02.04—30.10 2007 г.

Оппонент д. т. н. В. В. ДАНИЛОВ
(ДонНУ, г. Донецк)

АКУСТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ

Разработана система дистанционного контроля давления с использованием датчиков на основе составной линии задержки на поверхностных акустических волнах. Приведена структура аппаратных средств опросного устройства.

В работе [1] показано, что датчики на основе линий задержки (ЛЗ) позволяют осуществлять беспроводный контроль физических параметров. Такие датчики являются пассивными устройствами и не требуют источника питания. Датчик может быть установлен в труднодоступном или опасном месте лишь однажды. Как показано на **рис. 1** [1], он представляет собой линию задержки на поверхностных акустических волнах (ПАВ), содержащую два встречно-штыревых преобразователя (ВШП). Один соединен с антенной (ВШП1), а другой — с нагрузкой (ВШП2), величина которой зависит от измеряемого параметра (давления, влажности, температуры, интенсивности излучения).

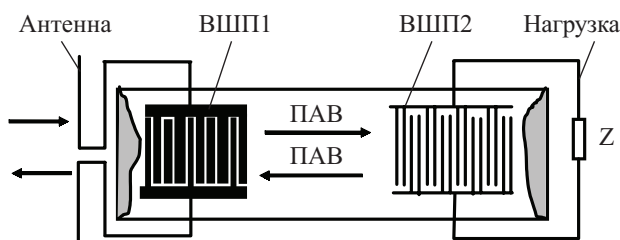


Рис. 1. Датчик на основе линии задержки на отражательных ВШП

Целью настоящей работы является исследование возможности использования такого датчика физических величин в качестве датчика давления, разработка новой конструкции, позволяющей существенно повысить чувствительность, и системы дистанционного контроля этого датчика.

В работе [1] показано, что коэффициент отражения ПАВ от ВШП зависит от величины и характера нагрузки, подсоединяемой к ВШП. Зависимость особенно сильна, если нагрузка имеет индуктивно-емкостный характер [2, с. 99—100].

При надлежащем подборе индуктивности можно скомпенсировать собственную емкость ВШП, и тогда величина коэффициента отражения будет зависеть от величины емкости нагрузки, особенно если вели-

чина активной составляющей проводимости излучения ВШП меньше величины емкостной составляющей проводимости излучения или близка к ней.

В эксперименте была использована ЛЗ на ПАВ, в которой ВШП расположены на подложке $YX/128^\circ$ -срезе ниобата лития. Приемопередающий ВШП был выполнен однонаправленным [1] с апертурой, равной 80 длинам ПАВ на центральной частоте, и содержал 17 отражателей. Отражательный ВШП содержал 15 пар расщепленных электродов, которые были выбраны для устранения отражения ПАВ от электродов ВШП (в противном случае формула (1) [2] будет несправедлива, т. к. в ней не учтено отражение от каждого штыря в отдельности). Расстояние между ВШП было равно 4 мм, а центральная частота — 645 МГц.

На **рис. 2** показана зависимость коэффициента отражения от величины емкости нагрузки, которая соединена с отражательным ВШП последовательно с индуктивностью. Индуктивность подобрана таким образом, что на центральной частоте имеет место резонанс контура, состоящего из индуктивности и последовательно соединенных емкостей C и C_T , где C — емкость одноволновой секции ВШП; C_T — статическая емкость ВШП.

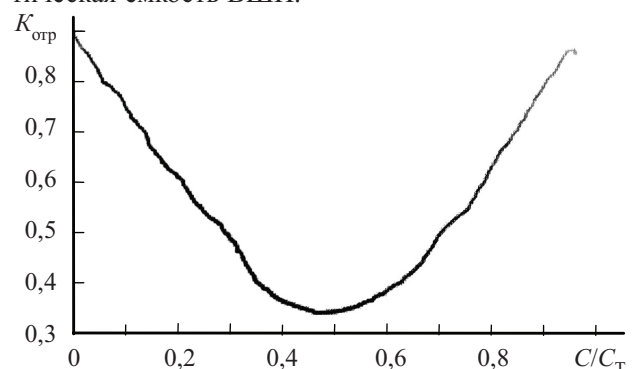


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения от величины нагрузочной емкости в ЛЗ на отражательных ВШП

Как видно из рисунка, коэффициент отражения значительно (более чем в 2 раза) меняется при изменении этой емкости всего на 50%, что позволяет использовать этот эффект для измерения давления, когда в качестве чувствительного элемента используется датчик, емкость которого зависит от давления. Такие датчики могут быть установлены, например, в опорные колонны несущих конструкций зданий для

контроля напряженных состояний строительных конструкций и предупреждения их разрушения.

При этом опрос такого датчика производится по радиосигналу, т. к. датчик, с помощью которого измеряют давление, подсоединен к отражательному ВШП. При изменении давления изменяется емкость датчика, а следовательно, и коэффициент отражения, по величине которого можно определить давление. На **рис. 3** показана структурная схема опросного устройства.

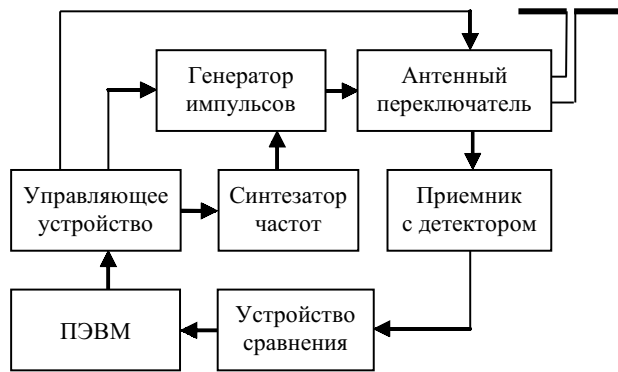


Рис. 3. Структурная схема опросного устройства для ЛЗ на отражательных ВШП

По сигналу от ПЭМВ управляющее устройство запускает синтезатор и генератор импульсов, и через антенный переключатель радиоимпульс с частотой F_0 (центральная частота приемопередающего ВШП) излучается на линию задержки, содержащую отражательный ВШП, нагруженный на последовательно соединенные индуктивность и емкость, которая измеряет давление. В линии задержки сигнал отражается на частоте F_0 с задержкой τ_i и амплитудой A_0 . Через время τ_i антенный переключатель по команде управляющего устройства подключает антенну к приемнику, который выделяет этот сигнал, усиливает его и детектирует. (За время τ_i все отраженные от металлических поверхностей сигналы уже пройдут, т. к. расстояние между опросным устройством и датчиком выбирается равным 10—50 м, а задержка в ЛЗ в 1 мкс соответствует расстоянию 300 м). Далее сигнал поступает на устройство сравнения, которое сравнивает импульс с предыдущим и выдает эти данные на ЭВМ, где определяется, изменилось ли давление, а также достигло ли давления критических значений.

Таким образом, создается система дистанционного контроля за напряженным состоянием строительных конструкций, в которой датчик давления не требует источника питания. Недостатком такой системы является низкая чувствительность, т. к. для заметного изменения коэффициента отражения требуется изменение емкости в несколько процентов. Поэтому был предложен другой метод измерения давления — на основе составной линии задержки на ПАВ, представляющей собой пьезоэлектрический датчик перемещения.

Устройство такого датчика показано на **рис. 4**. Датчик состоит из двух пьезоэлектрических подложек из ниобата лития $YX/128^\circ$ -среза, на полирован-

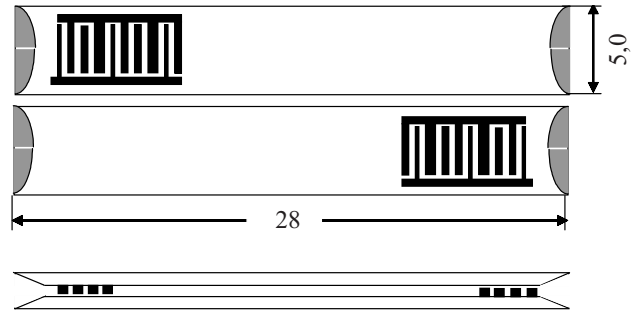


Рис. 4. Конструкция составной линии задержки на ПАВ

ной поверхности которых изготовлены однонаправленные встречно-штыревые преобразователи из алюминиевой пленки, излучающие поверхностные акустические волны. Расстояние между подложками выбирается равным порядка длины ПАВ, а расстояние между ВШП — 250—300 длин ПАВ. Эти подложки перемещаются друг относительно друга. При этом меняется задержка сигнала между преобразователями, по которой и определяется величина перемещения. При этом при переходе ПАВ с одной подложки на другую вносится затухание порядка 20 дБ. Это приводит к уменьшению сигнала тройного прохождения в 60 дБ (что приводит к искажению фазочастотной характеристики).

Скорость распространения поверхностной акустической волны в ниобате лития равна 3980 м/с, а коэффициент электромеханической связи равен 0,058, что позволяет ПАВ переходить с одной подложки на другую при величине перекрытия подложек 20 мм и расстоянии между подложками порядка длины поверхностной волны. Края подложек сточены под углом примерно $20\text{--}30^\circ$ и заполированы, как показано на **рис. 4**. Это необходимо для уменьшения отражений ПАВ от краев подложки, которые искажают амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики. Как показали измерения, для получения относительной точности измерения перемещения порядка 10^{-5} необходимо подавление паразитных сигналов порядка 80 дБ, что и достигается подбором зазора между подложками и надлежащей обработкой краев подложек (см. **рис. 4**).

При подаче на шины ВШП электрического сигнала он начинает излучать в подложку поверхностные акустические волны, которые переходят на другую подложку, примыкающую к данной, и принимаются другим ВШП, который преобразует акустический сигнал обратно в электрический. При смещении подложек друг относительно друга происходит изменение задержки и фазы сигнала, по которым и определяется величина перемещения, зависящая, в свою очередь, от давления. Это легко сделать, если измерять перемещение поверхности мембраны, которая прогибается под действием давления. В этом случае смещение в пределах длины ПАВ заметно меняет фазу сигнала, поэтому чувствительность значительно возрастает.

На **рис. 5** показана зависимость фазы коэффициента отражения от величины перемещения. Как видно, фаза отражения значительно меняется и про-

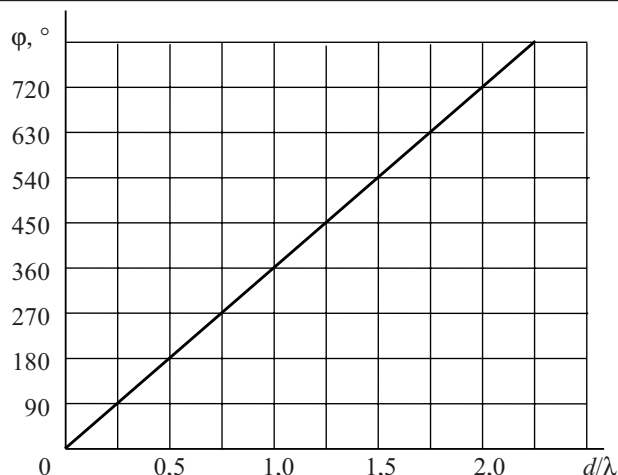


Рис. 5. Зависимость фазы коэффициента отражения от величины перемещения в составной ЛЗ

порциональна величине смещения. При длине ПАВ 4,4 мкм (860 МГц) фаза изменяется на 90° при смещении всего на 1,1 мкм.

При таком методе измерения можно также организовать дистанционный контроль. Для этого вводится опорная ЛЗ с отражателем, фаза отражения от которого фиксирована. Эта ЛЗ настроена на другую частоту, не входящую в полосу частот измерительной составной ЛЗ. На рис. 6 показана структурная схема опросного устройства для данного типа датчика.

Сигналы от опорной и измерительной ЛЗ через полосовые фильтры ПФ₁ и ПФ₂ попадают на приемники со смесителями, которые выдают импульсы с одинаковой несущей частотой. Эти импульсы далее попадают на устройство сравнения, которое определяет сдвиг фаз между ними, обусловленный смещением подложек друг относительно друга в измерительной ЛЗ. Если использовать в качестве опорной ЛЗ точно такую же, как измерительная, но с фиксированным расстоянием между преобразователями, близким к расстоянию между ВШП в измерительной ЛЗ, то это позволяет исключить влияние температуры, т. к. уход фазы из-за температуры будет одинаков для обеих ЛЗ.

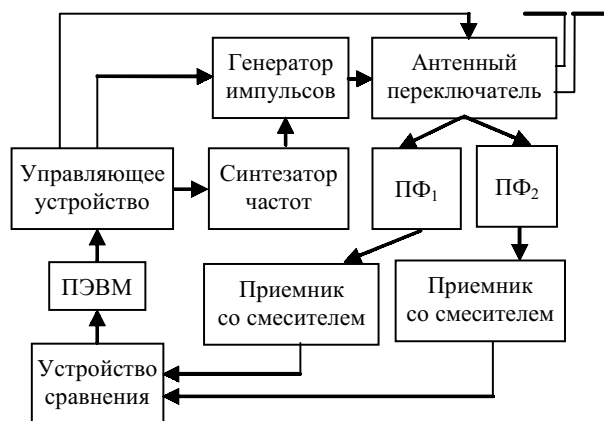


Рис. 6. Структурная схема опросного устройства

Таким образом, рассмотрены датчики дистанционного контроля на основе линий задержки на поверхностных акустических волнах, в которых имеется приемоизлучающий встречно-штыревой преобразователь и отражательный ВШП.

Исследованы зависимости коэффициента отражения ПАВ от отражательного ВШП в зависимости от типа и величины нагрузки, которая чувствительна к различным физическим воздействиям.

Предложены датчики давления на основе составной линии задержки, где фаза коэффициента отражения зависит от величины давления, которое вызывает смещение отражательного ВШП относительно приемопередающего, т. к. они находятся на различных подложках в составной линии задержки на ПАВ.

Приведена структура аппаратных средств опросного устройства как для случая ЛЗ с отражательным ВШП, подсоединенным к нагрузке, так и для составной ЛЗ.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Карапетян Г. Я., Катаев В. Ф. Пассивный датчик на поверхностных акустических волнах для дистанционного контроля параметров // Технология и конструирование в электронной аппаратуре (ТКЭА).— 2006.— № 5.— С. 53—54.
2. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах.— М.: Радио и связь, 1990.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Айхлер Ю., Айхлер Г.-И. Лазеры. Исполнение, управление, применение.— М.: Техносфера, 2008.— 440 с.

Лазеры играют важнейшую роль в сфере технических измерений, информационных технологий, обработки материалов, медицине и других областях науки. В книге дается обзор наиболее распространенных типов лазеров с описанием их многочисленных применений. Рассматриваются основы лазерной оптики, оборудование для анализа лазерного излучения, приводятся характеристики лазерных материалов. Заключительные главы посвящены рассмотрению наиболее важных областей применения лазерных установок и перспектив их дальнейшего развития.

Для студентов вузов, преподавателей, учителей и школьников.

